

博 士 論 文

トンネルを用いた広域避難方法に関する研究
(Study on tunnel for refuge for wide area disasters)

金沢大学大学院 自然科学研究科
システム創成科学専攻

学籍番号 1123122201

氏名 江本 信司

主任指導教員名 川端 信義

目次

1. 序論	1
1.1 地震に伴う広域災害と避難	3
1.2 広域避難計画	5
1.2.1 地震に伴う広域避難での被害想定と対策	5
1.2.2 広域避難計画	6
1.2.3 広域火災の既存対策	7
1.3 広域避難と建物避難に関する研究概要	12
1.4 広域避難の課題	15
1.5 本研究の目的	17
2. 避難トンネルシステムの提案	18
2.1 広域火災からの避難システム	18
2.2 広域災害地域への救急救助活動システム	19
3. 広域避難シミュレーションによる避難	21
3.1 諸言	21
3.2 避難シミュレータ概要	21
3.3 メッシュによる空間モデルの作成	22
3.4 避難シナリオ設定	24
3.5 避難者条件設定	26
3.6 解析ケース	27
3.7 避難トンネルによる避難時間比較検討	28
3.7.1 基本ケースによる避難時間	28
3.7.2 地上避難による道路幅の影響	32
3.7.3 避難トンネルを利用した際の避難時間	36
3.7.4 避難トンネル（地下モデル）による影響	42
3.7.5 災害弱者のみ避難トンネルを併用した際の避難時間	47
3.7.6 避難トンネル幅の影響	52
3.7.7 避難トンネルモデルの違いによる比較	54
3.7.8 避難トンネルによる避難時間比較結果	58
3.7.9 避難トンネルによる避難率向上の期待と課題	59
3.7.10 1次避難地の待機時間影響検討	60
3.8 避難トンネル構成概要と概算コスト試算	65
3.8.1 避難トンネルに求める機能とシステム概要	65
3.8.2 避難トンネル構築概算コスト	70

3.8.3 既存の都市地下インフラストック活用の留意点	73
4. 結論	75
5. 参考文献	76
謝辞	79
6. 付録	80
6.1 解析結果一覧	80

1. 序論

日本は、周辺をプレートで囲まれており、世界の中においても有数の地震大国である。このため、関東大震災、阪神大震災、東日本大震災を代表として多くの地震にみまわれ、人的・経済的被害を被ってきた。この大地震による広域災害としては、図 1-1 に示すように焼死・圧死・溺死に大別され¹⁾、焼死・圧死の被害を抑制するための研究・設備投資が行われているところである。特に、首都圏においては、M7 クラスの地震が発生する確率は 30 年間で 70%と推定されており²⁾、建造物倒壊による道路封鎖や木造建造物から発生する同時多発火災による犠牲者の抑制が課題となっている³⁾。この対策として、建物の耐震化及び不燃化や、密集市街地の再開発による道路幅の確保等の地上面の施策により、広域避難における避難経路の確保及び避難時間の短縮や新たな避難地の確保を実施しているところであるが、計画の実現には費用の大きさや多数の調整先により時間が必要となる。一方で、広域な市街地火災に対する地上面での整備以外の対策として、地下空間を利用した避難トンネルシステムを構築する提案は成されたことがない。

本研究では、市街地災害時の広域避難のための避難トンネルを提案し、避難シミュレーションによりその基本特性を整理するとともに、そのシステムと建設コストについて検討するものである。

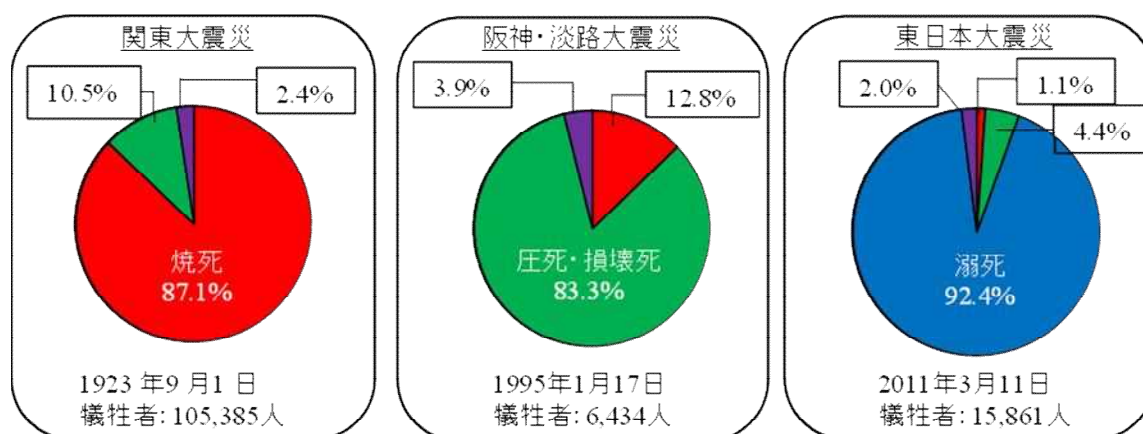


図 1-1 大地震における死亡要因

(用語の定義)

広域避難地 : 大地震時に周辺地区からの避難者を収容し、地震後発生する市街地火災や津波から避難者の生命を保護するために必要な面積を有する公園、緑地等をいう。

一次避難地 : 広域避難地へ避難する前の中継地点で、避難者が一時的に集合して様子を見る場所又は集団を形成する場所とし、集合した人々の安全かおる程度確保されるスペースをもつ公園、緑地、学校のグラウンド、団地の広場等をいう。

災害弱者 : 高齢者・乳幼児・子供や障害者・傷病者・妊婦等の避難地まで到達に時間を要する人をいう。災害時要救護者ともいう。

避難完了時間 : 避難者が避難開始から安全な場所まで移動に要した時間をいう。

避難完了率 : 避難者全数に対して避難完了した人数の割合をいう。

1.1 地震に伴う広域災害と避難

日本における過去に発生した地震を要因とする火災やその他要因による火災の発生とそれに伴う急速かつ大規模に拡大する大火により避難に困難を生じたり、建物や人命の被害が発生する。その理由としては、市街地が密集していることや建築物が木造であり不燃化率が低いことから火災が急速に拡大することによる。また、季節風等の自然要因に加えて、密集した市街地の道路幅が狭いことから火災が道路を横断して格段することや、道路を利用した避難を阻害する懸念も大きい。

過去に発生した日本の主な火災³⁾についてに表 1-1 示す。表に示す関東大震災に代表されるように、大地震発生後に発生した火災が季節による気象条件や時刻による火気の使用により飛び火して大火災に至る。特に関東大震災のような状況では同時に多数発生した火災により逃げ道を塞がれ避難が困難となり負傷につながるものが想定される。

このため、火災等による広域災害における広域避難計画では避難者を効率的に避難をさせるための避難経路の確保が重要となる。

表 1-1 過去に発生した日本の主な火災³⁾

大火名	発生年	損害等
濃尾地震	1891 年	2900 戸焼失
関東大地震	1923 年	東京都の被害：死者 59,593 人，負傷 28,972 人，行方不明 10,904 人 神奈川県の被害：死者 29,614 人，負傷 19,523 人，行方不明 2,295 人
山陰地方大地震火災	1925 年	1683 戸焼失，死者 381 人，負傷 532 人
京都府奥丹後地方地震	1927 年	4,999 戸焼失，死者 2,275 人，負傷者 4,101 人，行方不明 81 人
金華山沖大地震	1933 年	焼失家屋 216 戸，死者 1723 人，負傷 930 人，行方不明 1,263 人
北海道函館市	1934 年	23,633 戸焼失，死者 2,166 人，負傷 2,318 人
福井県丸岡町(地震)	1948 年	3690 戸焼失，死者 5168 人，負傷 3,347 人
富山県魚津市大火	1956 年	1677 棟焼失，焼死 5 人，負傷 170 人
山形県酒田市	1976 年	1,774 棟焼損，死者 1 人，負傷 1,003 人
阪神大震災	1995 年	兵庫県南部地震（マグニチュード 7.2）死者 6,425 人，行方不明 2 人，負傷 43,772 人，焼損棟数 7,386 棟焼損面積 819,108m ² ，罹災人員 18,109 人

1.2 広域避難計画

1.2.1 地震に伴う広域避難での被害想定と対策

関東大震災を初めとした地震による火災等で生じた被害を参考とし、将来発生しうる大地震における被害を想定し対策について以下に示すように取りまとめられている²⁾。

想定対象とする地震は、平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震をうけてマグニチュード (M) 7 クラスの地震で首都圏都区部直下地震を設定している。この設定した都区部直下地震での被害は次のように想定されている。

揺れによる全壊家屋：約 175,000 棟、建物倒壊による死者：最大 11,000 人

火災による死者：最大 16,000 人

地震発生直後から火災が同時に発生し、大規模な断水による消火栓の機能停止、交通渋滞による消防車両のアクセス困難と多発する火災による消防力の低下、東京の環状線付近にある木造密集市街地を中心に、大規模な延焼火災に至ることを想定している。

この想定における広域災害の課題は、①深刻な道路交通麻痺②膨大な避難者・被災者の発生③物流機能の低下による物資不足④電力供給の不安定化⑤情報の混乱⑥復旧・復興のための土地不足が上げられ、②の膨大な避難者が逃げ惑いによる焼死者に至らないような対策が必要となる。

この対策のうち出火対策としては、出火防止策・延焼被害の抑制対策が挙げられているが、特に延焼被害の防止策として木造住宅密集市街地での道路拡幅の活動空間の確保を進めることや、避難場所等の確保とともに安全に避難するための避難路の整備を進めること上げられている。

1.2.2 広域避難計画

大地震による災害時の避難行動計画は自治体により計画されるが、まず、発災直後に地震による直接被害を免れるための行動をとった後、建物等の初期安全空間にて、避難判断をするための情報収集を行う。次に、当初避難した建物から、避難所（小中学校）一時集合場所（町会会館等）防災広場・公園などの最寄りの一次避難地への一時的避難を実施する。その後、漏電や事故等に起因する複数地点の出火により火災が延焼拡大して、地域全体が危険になった場合、一次避難地から広域避難地に避難する計画とされ、火災の輻射熱から守られる十分な広さを確保した大規模な広場（大規模公園・団地・大学で10ha以上）が自治体によって指定されている。この広域避難地は、必要広場面積の制約条件（10ha以上）により、地域や人口当たり適切に計画することが難しく、避難距離が長くなることや、避難経路が途絶しやすいという課題を抱えている。特に、大都市圏など一般家屋が隣接する地域では、避難者は関東大震災時に発生したような火災旋風や火災合流によって火災に閉じ込められ、地表を避難経路とする避難ができなくなる危険性もある²⁾。

このため、地上面を利用した広域避難計画は、密集市街地での市街地整備による避難地の確保と地上避難経路道路幅を拡幅する等の取り組み²⁴⁾がなされているが、解決には大規模空地の更なる確保や、行政による広域避難経路の整備等が必要となることから、実現までの時間や費用の課題がある。

1.2.3 広域火災の既存対策

(1) 密集市街地の整備対策

密集市街地における広域避難計画は、都市計画³⁾として総合的な市街地の再開発により道路・公園の整備を行い当該する防災街区全体での延焼防止や避難地・避難路としての機能を確保する方針として定められている。このため密集市街地が防災再開発促進地区の対象となる場合には、防災公共施設の整備方針・防災公共施設の種類・防災公共施設の配置及び規模・整備スケジュールを定めることが必要となる。具体的な整備対策は指針⁴⁾に基づいて各行政機関が整備計画を策定する。指針は、地震時において大規模な火災の可能性があり重点的に改善すべき密集市街地の整備・改善の有効な一手法である防災街区整備地区計画により、重点密集市街地における最低限の安全性の確保に寄与することを目的としておりその指針の概要について次に示す。

(a) 重点密集市街地

都市再生プロジェクトにおいて、密集市街地のうち特に大火の可能性の高い危険な市街地（東京、大阪各々で 2,000ha、全国では約 8,000ha）を対象に重点地区として整備することで、市街地の大規模な延焼を防止し、最低限の安全性を確保することに決定されている。また、密集市街地のうち、延焼危険性が特に高く地震時等において大規模な火災の可能性があり、そのままでは最低限の安全性の確保が見込めないことから重点的に改善が必要な密集市街地を重点密集市街地（全国で 400 地区、面積約 8,000ha）としている。

(b) 最低限の安全性

最低限の安全性は、特定地区防災施設の整備により避難困難者がほとんど 0（避難路への到達確率 97%以上）としている。この数値に基づき、特定地区防災施設（道路・公園）の配置ピッチを検討することとしている。

(c) 対象とする計画と施設

対象とする計画は、防災環境軸、都市防火区画、防火・準防火地域、特定防災街区整備地区、防災街区整備地区計画としている。対象とする施設は、防災街区整備地区計画で定める特定地区防災施設の道路としている。これは、安全性確保の手段である建築物の更新による不燃化に対して、道路整備を中心とした公共による安全性確保としている。最低限の安全性は、道路と沿道の建築物とによって確保されるものとしている。

(d) 防災街区整備地区計画の役割

密集市街地の整備手法は、都市レベルの対策である公共施設整備や建築物の不燃化や広域避難地の整備と地区レベルの対策である都市計画施設に囲まれた内部市街地の避難経路や一次避難地の整備がある。都市レベルの対策では阪神・淡路大震災時でも火災の焼け止まりにより市街地大火が抑制され役割が確認されている。一方、地区レベルの対策である

避難経路や一次避難地の整備は密集整備法成立までは有効な対策がなされなかったことから整備が遅れており地震災害で被害が大きくなることが想定され整備を進めていく必要がある。

(e) 都市レベルの防災対策

都市レベルの防災対策の基本となる避難地、避難路の配置の考え方を次に示す。①誘致距離 2km 以内で広域避難地を配置する。広域避難地の面積は 10ha 以上とし、面積が不足する場合には周辺を不燃化することにより安全性を確保する。②誘致距離 500m 程度で一次避難地を配置する。一次避難地の面積は 1ha 以上とする。一次避難地は避難中継地で地域の防災拠点のため、地域の生活圏に 1 箇所程度配置する。③誘致距離 500m 以内で避難路を配置しネットワークを構成する。④避難路沿道を不燃化して安全を確保する。

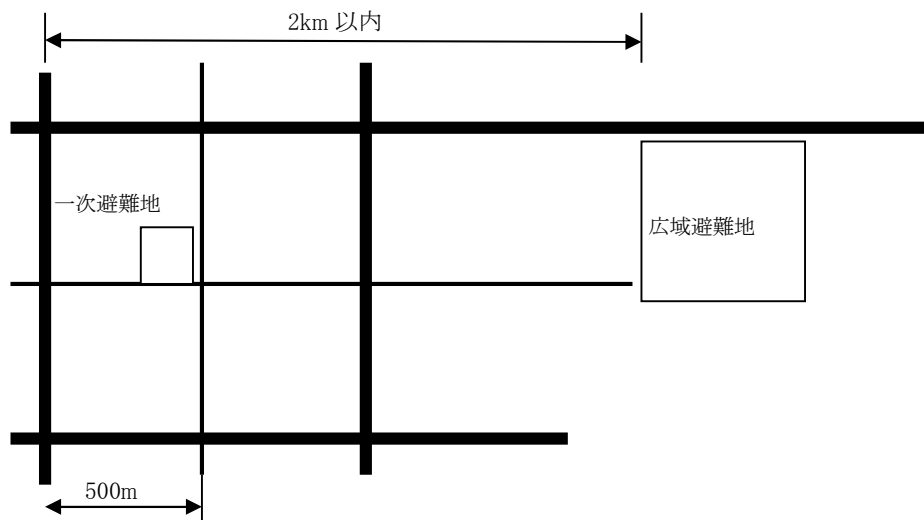


図 1-2 都市レベルの防災対策の基本概念 ⁴⁾

(f) 都市レベルの防災対策と地区レベルの防災対策の役割分担

都市レベルの防災対策は図 1-2 に示したように避難先となる広域避難地と一次避難地の確保と大きな避難路のネットワークを構成する役割となる。一方、地区レベルの防災対策は地区内の避難経路を整備することにより大きな避難路のネットワークを経由して各避難地に避難する役割となる。このため地区内の避難路整備を検討する際には、都市レベルの防災対策は整備済みであるものとして計画検討・評価を行う。

(g) 地域防災計画

地域防災計画は、災害対策基本法に基づき都道府県、市町村等の各自治体が策定する。各地域で想定される災害に応じた対策（消防、避難、救助・救出、復旧・復興）を定める。東京都地域防災計画⁴⁶⁾を例を次に示す。東京都地域防災計画における避難は、避難勧告の後、一時集合場所に集合した避難者を適切な集団に編成し、避難場所への避難を市区町村・警察・消防の誘導のもと実施する。一時避難場所までは各自の自力による避難を行い、一時避難場所からの避難場所へは誘導のもと避難を行う体制となっている。

避難の勧告・指示

区市町村、東京都、警視庁、消防庁による

避難誘導

区市町村は避難の勧告・指示がだされた場合、地元警察及び消防の協力により地域や事業所単位の集団形成を図るために一時集合場所に避難者を集合させたのち、防災市民組織や事業所等のリーダーを中心に集団を編成しあらかじめ指定する避難場所等に誘導する。

警察は一時集合場所に集合した地域住民や従業員等の集団単位で指定された避難場所に避難させる。消防は災害の状況等を勘案し安全と思われる方向等を区市町村・警察等に通報する。避難が開始された場合には避難誘導をにあたり、消防活動は避難場所や避難道路の安全確保に努める。

避難方式

一時集合場所に集合した後に避難場所へ避難する２段階避難とする。

避難経路

任意の経路や、避難場所までの距離が3km以上ある遠距離避難地域または火災による延焼の危険性が著しい地域は指定された避難道路とする。

避難場所

あらかじめ指定してある避難場所とする。

(h) 計画案の作成

防災街区整備地区計画の区域において、特定地区防災施設（道路）の配置を定める際には、①避難路、避難上有効な空間または隣接する地区の避難経路と接続すること②避難路の配置を勘案し、防災性の向上に資するよう設定した区域内においてバランスよく配置すること③全部の特定地区防災施設の配置を一度に定めることができない場合は、区域内のバランスを勘案して、防災性の向上に資するルート（優先ルート）から段階的に定めること④上記に際しては既存の道路等を活用することとしている。

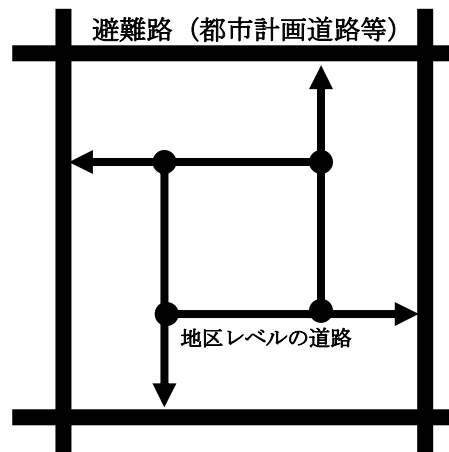


図 1-3 地区レベルの道路配置例⁴⁾

(i) 評価及び検証

評価及び検証については①配置した特定地区防災施設である道路が区域内のどこからでも一定の距離以内で到達できることで判断する方法②防災まちづくり支援システムにより評価を行う方法がある。この支援システムはアクティビティシミュレーションとして各家庭から避難路までの到達を視覚的に確認して評価する機能と延焼シミュレーションとして出火からの経過時間毎に消失棟数割合を視覚的に確認し評価する機能で構成されており、現況と計画案を比較して評価することができる。

(j) その他の対策⁶⁾

広域火災に対するその他の避難対策として以下に整理する。

①建物の耐震化：阪神・淡路大震災では、震度 7 の地域を中心として、建造物の倒壊などの被害が大きかった市街地の範囲において、火災発生件数が多かったことが報告されている。特に通電火災が多い現代都市型の地震火災では、建物の耐震化が確実に出火件数を軽減することに繋がると考えられている。

②建物の不燃化と延焼遮断帯の整備：東京都郊外には、木造密集市街地が広がっており、震災時の延焼火災による震災被害の拡大が懸念されている。東京都では、平成 24 年度 1 月に、「木密地域不燃化 10 年プロジェクト」の取り組みで不燃化特区を選定し、木造密集地区の不燃化に取り組んでいる。阪神・淡路大震災では、道路・鉄道、公園や空き地、耐火構造の建物や防火壁で延焼が停止（焼け止まり）している。このことから、東京都では阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ、平成 7 年度に「防災都市づくり推進計画」（平成 15 年度、平成 22 年度改定）を策定している。この計画では、市街火災の延焼を防止するために広い道路の整備、沿道の建物の不燃化により、総延長 1,600km の延焼遮断帯の形成を目指している。

③避難場所および避難道路の指定：東京都では、震災時に拡大する火災から住民を安全に保護するために、避難場所を指定している。東京都区部の避難場所は、平成 25 年 5 月時点で 197 ヶ所指定されている。避難道路は、区部ごとに指定された避難場所へ安全に避難するために指定された道路を指す。

④地区内残留地区の指定：東京都では、地区の不燃化が進んでおり、万が一火災が発生しても、地区内に大規模な延焼火災の恐れが無く、広域的な避難を要しない地区を、地区内残留地区として指定している。平成 25 年 5 月時点で 34 か所、約 100km² が指定されている。

1.3 広域避難と建物避難に関する研究概要

トンネルを用いた避難方法の研究を進めるにあたり、広域避難および建物避難に関する既往研究の知見及び課題について整理を行う。広域避難や建物避難での避難行動に関する研究は実現象の再現が難しいことから各種のモデルやシミュレーションが構築されている状況にあり、本研究で目的とする避難に関するモデルやシミュレーション、及びトンネルを利用した避難に関する現状を確認するものである。

津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価

藤岡ら⁷⁾は、限られた時間内での効率的な津波についてエージェントモデルを利用して避難シミュレーションを行ったものである。これらのシミュレーション結果を分析し、避難所の規模や避難誘導方法などの評価を行った。この中では、初期の避難誘導が間に合わない可能性がわかり、避難場所を常時管理し避難誘導方法について周知を図ることが不可欠と考えられた。これらの検討の結果、避難猶予時間に応じて避難誘導システムを変更することでより多くの人命安全が期待できることを明らかにした。

歩行シミュレーションソフトの検証

峯岸ら⁸⁾は、マルチエージェントモデルによる市販シミュレーションソフトを用いて速度・密度・流動係数等の群集歩行性状の基本データについて、大規模ホールからの避難を想定したシミュレーションを実施し検証を行った。シミュレーションケースの実施の結果、滞留の連鎖や通路幅や歩行領域及び密度の関係、開口流動係数の関係などを分析し、群集歩行の定性的な性状が再現されることを確認した。

歩行シミュレーションソフトによる歩行者密度と速度と流動係数

峯岸ら⁹⁾は、マルチエージェントモデルによる市販シミュレーションソフトを用いて既往の研究での実験実測結果との比較によりシミュレーションにおける歩行性状の妥当性を検討した。歩行者及び壁による障害物が存在する条件において歩行者の密度による歩行速度の変化を分析し実測実験式との傾向が同じであることを確認した。

歩行シミュレーションソフトと群集歩行実験との比較

城¹⁰⁾らは、著者らが開発した歩行シミュレータのモデルにおける各種パラメータやチューニングを確認するため実際の群集流とシミュレーションとの比較を行った。シミュレータのパラメータ等は過去の実測値及び指針等により定めて解析を行った結果、実験値とモデルでは同様の流動傾向を確認した。

群集歩行流の定量的評価方法の提案

吉田¹¹⁾らは、著者らが開発した歩行シミュレータのモデルにおいて避難安全性の評価として時々刻々の避難状況を把握し避難者の流れの円滑さの指標の概念を新たに提案した。新たに提案した指標に基づき歩行シミュレータで分析比較した結果、実用化への課題を含むが適用可能性があることを確認した。

開口の流出先による流動係数の考察

峯岸ら¹²⁾は、歩行シミュレータモデルの基本性能の確認のため開口部における流動係数について系統的に把握するための分析を行った。系統的に分析を行った結果、指針法や避難安全検証法では違いを区別されない開口の流出先の状況により流動係数に違いが生ずることを確認した。

大地震時の救助活動と逃げ遅れに関する研究

沖¹³⁾らは、著者らが構築した広域避難シミュレーションモデルを用いて避難分析を行い際に救急救助活動モデルを新たに組み込み救助活動の効果と救助活動者地震のリスクを定量的に評価する研究を行った。広域避難の分析において、避難者滞在数・救助活動者数・建物内閉じ込め者数・街路上閉じ込め者数を分析し救助活動時間と救助活動者自身の街路上閉じ込めリスクを検討した。この分析の結果、救助活動における行動開始・活動断念のタイミングが及ぼす影響を分析するとともに、救助活動に関する新たな定量的知見を得た。

災害避難時の危険回避行動モデルの研究

栗田¹⁴⁾¹⁵⁾らは、広域避難シミュレーションを構築し、地域防災計画における広域避難計画の検討を行った。構築した広域避難シミュレーションは、避難する移動個体が危険を回避して避難行動を行うモデルである。危険回避には閉塞道路を認識した場合に停止し経路を再選択する概念を構築した。このモデル構築により広域避難シミュレーションを試行した結果、避難所の収容人数を超過して避難困難者が発生することを分析し、より現実的な広域避難シミュレーションが可能となることを確認した。

広域火災時の避難シミュレーションモデルの構築

岩見¹⁶⁾らは、大地震後の広域火災において延焼時の逃げ惑いの発生条件について明らかにすることを目的とし、避難問題箇所や阻害要因等の分析をおこなうための広域避難マルチエージェントシミュレーションプログラムを構築した。分析の結果、火災の拡大や避難を開始する火災距離条件等の設定条件により避難不能となる避難者が発生する可能性について確認した。

大都市避難シミュレーションの構築とその応用

廣井¹⁷⁾は、著者が構築した大都市避難シミュレータを用いて災害時に発生する混雑を評価し帰宅困難者について分析をおこなった。シミュレーションでは、自動車と徒歩移動者を考慮しており、混雑度に応じた移動速度を設定し従業員・私用外出者の帰宅・滞留の組合せでの分析をした結果、従業員の帰宅抑制をすることで徒歩移動者の滞留密度を減じることを確認した。

木造密集住宅地域整備評価の広域避難シミュレーション

大沸ら¹⁸⁾は、木造地域にの危険性を把握することを目的に物的被害モデルと避難行動モデルを統合した広域避難シミュレーターを構築し、これまで実施された整備事業の評価と木造地域の広域避難困難性の考察を行った。整備事業の進捗により道路沿いの建物不燃化・耐震化により避難困難率の減少が確認された。併せて整備事業の偏りにより避難困難率の高い箇所が生ずることで地域全体の避難困難率や避難時間・避難距離の改善を妨げていることを確認した。

1.4 広域避難の課題

広域避難では、地震後の漏電による失火や初期消火失敗等を原因とした複数地点の火災及び延焼により、大規模な延焼火災に至る場合が想定され、避難時間が長くなると火災に巻き込まれる恐れがある。例えば、大火災に至った関東大震災では、都市部の大火災により人的被害の9割弱が焼死を原因となっており、大地震後の広域避難の影響度が大きいことが判る。更に、近年の首都直下型地震の被害想定²⁾でも、複数地点での火災に取り囲まれることや火災旋風の発生等により逃げ惑いが生じ、最大約16,000人の死者が想定されている。この火災での逃げ遅れや逃げ惑いによる犠牲を大幅に軽減することが、求められる課題である。

このため、大都市圏の大地震後に想定される広域避難では、避難経路を確保することが重要課題であり、既存の対策²⁾として建築物の耐震化や延焼防止用の空地とともに避難路の確保が求められている。また既存の研究においても各種の避難シミュレータ構築による避難行動特性をモデル化することと、避難の評価においては避難時間・避難距離・避難困難率・滞留密度の減少・逃げ遅れ等の着眼点を挙げており、どのような対策を施すことにより避難をスムーズに行うことが期待でき、地区レベルの対策に反映していくかの議論が進んでいる。その対策の一つとして避難経路の整備があり道路幅の拡幅や効率のよい避難導線を確保する計画としている。一方で、大都市圏における地上の空地・避難経路の確保は既存家屋に対する居住者対応や移転費用・地域としての一体的生活環境維持等の現状状態に対応して新たに場所を確保するためには実現までに時間を要することが懸念される。よって、既存の対策と同等程度以上で、地域の現状状態に大きな変更を生じない対策案の提案することは実現までの時間を考える上では重要である。

また、図1-4に示されるように、日本の人口構成は急激に高齢社会に移行することが予測されており¹⁹⁾、災害弱者が人口の半数程度になることも考えられ高齢者のことを考慮した広域避難計画が将来にむけて重要となる。特に高齢者を含め、災害弱者の避難は避難時間・滞留密度・逃げ遅れ等による避難困難という大きなリスクを伴う。状況によっては、災害弱者に付き添う救護者や救助に赴いた自治体・警察・消防の救助者もアクシデントに巻き込まれてしまう危険性があり、更なる人的被害の拡大に繋がる恐れが懸念される。防災白書²⁰⁾では、①自分の身に危険が差し迫った時、それを察知する能力がない、または困難な者。②自分の身に危険が差し迫った時、それを察知しても適切な行動をとることができない、または困難な者。③危険を知らせる情報を受け取ることができない、または困難な者。④危険をしらせる情報を受け取ることができても、それに対して適切な行動をとることができない、または困難な者。以上4項目のうち、どれか一つにでもあてはまる人々を災害時要援護者としており、内閣府・総務省などの指導の下、全国の市町村で災害時要援護者の避難支援計画や「災害時要援護者名簿」の整備が進められている。しかしこれらは彼らの避難後の支援が主であり、避難途中の災害時要援護者を救うことは難しいことから災害弱者の方に着目した対策を検討することが必要である。



図 1-4 将来推定人口の推移¹⁹⁾ (65 歳以上)

1.5 本研究の目的

都市部における地震や地震に伴う広域火災では、関東大震災、阪神大震災を事例として、地震による直接被害以外に、二次災害による被害の拡大や避難経路の不足が課題となっている。このため、都市部においては、大地震後における二次被害の極小化を図り、人命損失の最小化や災害復旧段階の混乱を抑制する対策立案が急務であるが、都市部では広域避難のための避難空地の確保や広域火災対策に必要な防災対策としての避難経路整備等において実現すべき課題が多く存在している。

本研究は、都市部の広域避難のための避難経路として、地上避難経路の整備を最小限にすることと避難経路を早期に整備することを考え、地下部に避難トンネルを設けることにより避難時間短縮に寄与できる可能性について検討することを目的とする。特に、災害弱者に着眼しできるだけ早い時間に安全空間に避難完了するための方策として地上避難経路と地下避難トンネルを有効活用するにより、災害弱者の避難距離・避難時間の短縮とともに避難密度改善に伴う避難者全体の避難時間短縮効果について検討を行う。

検討に際して広域避難の実験と検証が難しいことから、現在定められている指針⁴⁾と同様にシミュレーションを用いて分析を行うこととし、基本となる地上避難経路による避難時間と本研究で提案する避難トンネルを利用した避難時間を比較することで評価を行うものとする。

また、避難トンネルで必要となる照明・換気等の機能を整理して避難トンネルを構築する所要概算費用を算定し、地上での避難経路構築で想定する費用との比較を行うとともに、都市内に既に建設されているインフラ設備を活用した場合の留意点を整理するものである。

2. 避難トンネルシステムの提案

本研究では、都市部大地震後に発生が予測される避難経路や避難地不足のため発生する死傷者に着目し、広域災害時における避難経路の途絶により避難時間や避難距が長くなるという地上面的避難の課題を踏まえ、避難地の追加や避難経路短縮の対策を施すために、地下空間を利用した新しい避難システムについて提案するものである。避難トンネルによる避難シミュレーションによる効果の検討、及び広域避難システムとなる避難トンネル構築に必要となる機能の概念については、次章以降で記述する。

2.1 広域火災からの避難システム

本研究で提案する広域避難システムは、広域避難における課題を解決するために、避難用トンネルとして地下に安全な避難経路を設置し、広域避難地までを避難する新しい避難システムである。すなわち、図 2-1 に示すように地上に避難口を設置し、避難者は避難口を利用し、地下に設置したトンネル部に進入、避難トンネルを経由して広域避難地まで移動するシステムである。避難の手順としては、既存の広域避難計画である 2 段階避難を踏まえて、各地区の避難者は災害発生後に避難勧告や避難指示の発令、または避難者本人の判断により事前に周知されている一次避難地に集合することを前提とした。その後、避難地域の情報により火災の拡大や多発の恐れが懸念され最終避難地となる広域避難地への避難を開始し避難経路を経て広域避難地に到達する手順を想定する。この避難手順より、避難トンネルの入口は一次避難地の敷地内に設けることにより、一次避難地から広域避難地を結ぶ避難経路として機能することを考える。

災害発生後に一次避難地に集合した周辺地域住民や従業者等の避難者は、一次避難地においてグループとして編成され最終的な避難地となる広域避難地への避難を指示される。このため、避難口の適切な整備と避難指示により、避難地域全体の災害弱者に対する避難時間の短縮に寄与することが可能となる。

大地震後の広域避難における地上の面的避難は、地震による建物の倒壊、複数地点火災の延焼拡大・火災旋風により、広域避難場所まで避難を継続できる環境ではなくなる懸念がある。これに対して、避難トンネルは、地震時においてもある程度以上の土被りがあり耐震設計された地下構造物であれば影響が比較的小さいこと²³⁾や、地上で発生する広域火災による輻射熱の影響が及ばない避難経路の安全確保が可能となる。また、避難トンネルを用いた避難システムは、地上に避難口を設けることで、火災に対する安全空間となることから避難時間の短縮が可能となり、現実性の高い避難が期待できる。特に、地上が過密状態となっている首都圏都心部では、避難経路として効果的なシステムになりうると考える。

2.2 広域災害地域への救急救助活動システム

避難トンネルは、火災地域からの避難経路としての活用方法と対になり、図 2-2 に示すように避難所やその他の安全地域から広域火災地域に取り残された要救助者への救急救助経路として活用可能である。大地震後における被災地域は、建物の崩壊・地上道路の寸断の危険性があり、救急救助車両により要救助者への到達に時間を要する懸念がある。また、地域外から救助に入った警察・消防の救助者が地上道路を利用して活動を行っている間に周辺の火災状況が悪化し取り残される危険性が懸念される。更に、大火災が発生した後は、火災地域への侵入が不可能となり災害弱者の生命保護が困難になることが想定される。このため、外部からの救急救助活動の救助導線として、広域避難地を基点として一次避難地に迅速に到達すること、一次避難地を利用して周辺地域の救助を必要とする避難者の救助活動を行うことを目的として避難トンネルを逆方向に利用する救急救助活動システムを考える。なお、救急救助の時系列的なタイミングについては避難者が一次避難地から広域避難地まで移動を完了した後を想定する。このためにも、避難者は早期に広域避難地までの避難を完了できるような対策を施すことが望ましい。

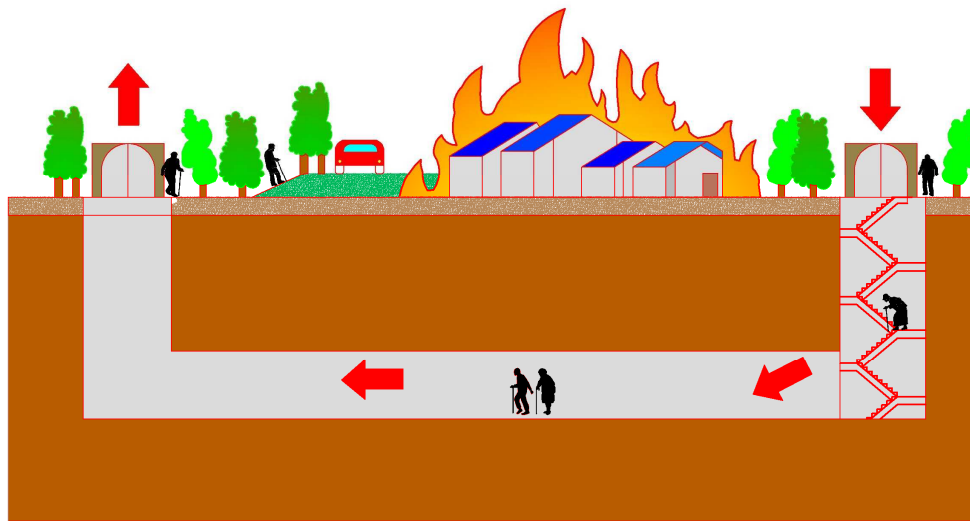


図 2-1 広域火災からの避難システム

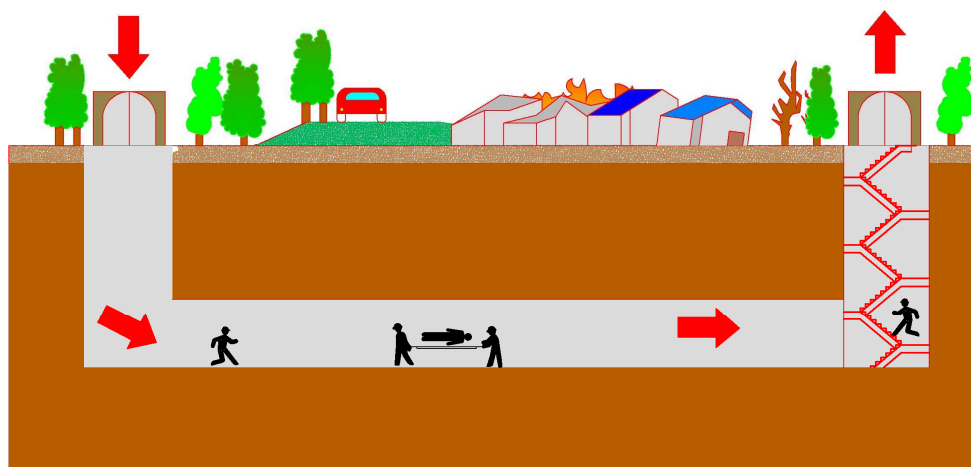


図 2-2 広域火災地域への救急救助

3. 広域避難シミュレーションによる避難

3.1 諸言

震災や水害などの大規模な災害における防災の分野では実験を行うことが難しく、被害の規模の推定や防災計画の策定を行う際には、シミュレーションによって評価・検討し対策の立案や施策に反映している⁷⁾。また、既往のシミュレーションにおける避難モデルは、群集の流動・経路選択・火災とのリンク・避難路の表現等の特徴があり、過去の研究において様々なモデル作成評価が実施されている²⁰⁾。本論文も、提案する避難トンネルの特徴を検討するために、シミュレーションを用いて広域避難を想定した地上面での避難と地下トンネルを併用した避難の各避難時間に着目した対比を行うものとする。

3.2 避難シミュレータ概要

避難者の避難を模擬するシミュレーションについては、マルチエージェントモデルを用いた歩行シミュレーションソフト **SimTread**^{8), 9), 10), 12), 21)}を用いる。**SimTread** は、モデル上に配置した人を設定された目的に向かって設定歩行速度で最短ルートをたどり移動する際に人同士の衝突や停滞を考慮した歩行シミュレーションであり、避難誘導計画や誘導経路の検討に用いられている。このシミュレーションソフトを用いて、避難経路の群集状態における避難時間の特性を整理する。また、避難トンネルを利用した避難は、地上道路幅と避難トンネルを併用する避難パターンの避難時間と地上道路のみを利用した避難時間とを比較し避難トンネルの特徴を整理する。

用いたシミュレーションソフトでは、検討する避難空間を CAD ソフト等を利用し実寸法で表記した空間モデルに対して、人間（横幅約 0.5m、奥行き約 0.3m）を配置し歩行速度の上限値や目的地（複数）・開始時間の単純な入力を 1 人毎に設定することで群衆状態における避難を解析している。

3.3 メッシュによる空間モデルの作成

避難時間の検討を行うに際して、対象となる避難地域と避難経路の設定を行う。防災街区整備地区計画作成技術指針⁴⁾に基づいて街区レベルの広域避難対策が施されている地域を想定する。このため対象となる地域の大きさは、2km 毎に広域避難地が設けてあることを前提とすることから 4km² の仮想空間を対象空間として設定し道路ネットワークをメッシュにより設定したモデルを用いる。広域避難地は図 3-1 に示す対象空間の右上に図示する位置に設定する。また、4km² の対象空間の外周となる 4 辺には避難経路としての幹線道路が整備されていることを前提とした。外周道路となる幹線道路の幅は 8m 以上の道路と設定するが、上下左右に隣接する他の避難エリアの避難者も幹線道路を同時に利用することを踏まえて、仮想空間として設定した 4km² の外周の幹線道路は半分の 4m 以上を条件することとした。次に、4km² とした対象空間を 1km² の正方形の 4 つのエリアに分割し、各エリアの中央部に 1 箇所一次避難地を設定する（図 3-1 中に示すオレンジ色の○箇所）。ただし、図 3-1 に示す広域避難地と接する右上の 1km² のエリアについては一次避難地を設けずに広域避難地が一次避難地を兼ねるものとして設定した。このため該当する右上の 1km² エリアは本研究の全てのケースにおいて地上避難を行うエリアとする。次に 1km² エリア内の道路ネットワーク形状は、避難防災計画で事例²³⁾に挙げられるパターン例を用いたモデルを作成した（図 3-1）。避難者の避難行動イメージは、一次避難地までの避難イメージは図 3-1 に示すオレンジ色矢印で表現するイメージとなり、地上を利用した広域避難地について一次避難地から広域避難地へむけて青色矢印のように最短経路で避難を行うイメージとなる。また、道路を模擬するメッシュについては、市街地の再開発を想定した道路幅を拡幅する計画⁴⁾として区画道路として位置づけられる幅 4m、主要生活道路幅の最低値となる幅 8m の 2 種類とし、道路ネットワーク形状は、避難防災計画で事例²²⁾に挙げられるパターン例を用いたモデルを作成した（図 3-1）。

地下空間モデルである避難トンネルは、図 3-2 に示すように一次避難地と広域避難地を結ぶ地下トンネルとして配置する。避難者は一次避難地に設けた A・B・C の避難口より地下の避難トンネルに入り広域避難地を目指して避難を行う。このため、避難トンネルを利用した避難者の行動イメージは一次避難地から広域避難地にむけて地下を青色矢印で示すような避難行動を行うものとした。さらに、避難トンネルネットワーク形状については、土地収用コストを考慮して構築が容易となるように、地上道路ネットワークの下部の比較的浅い深さの位置に構築するモデル I と、一次避難地 A 及び C から B に向かう避難トンネルは地上ネットワークの下部の浅い深さに構築するが、一次避難地 B より最短経路で広域避難地を目指すために、地上道路ネットワークと関係ない大深度に構築するモデル II の 2 パターンを設定する。この最短経路は一次避難地 A 及び C の避難者と B の避難者全てが利用することから道路幅は 8m として設定する。また、一次避難地 B から広域避難地 O までの経路は地下 40m より深くに構築することにより用地買収が不要となることを期待した避難トンネルネットワークである。

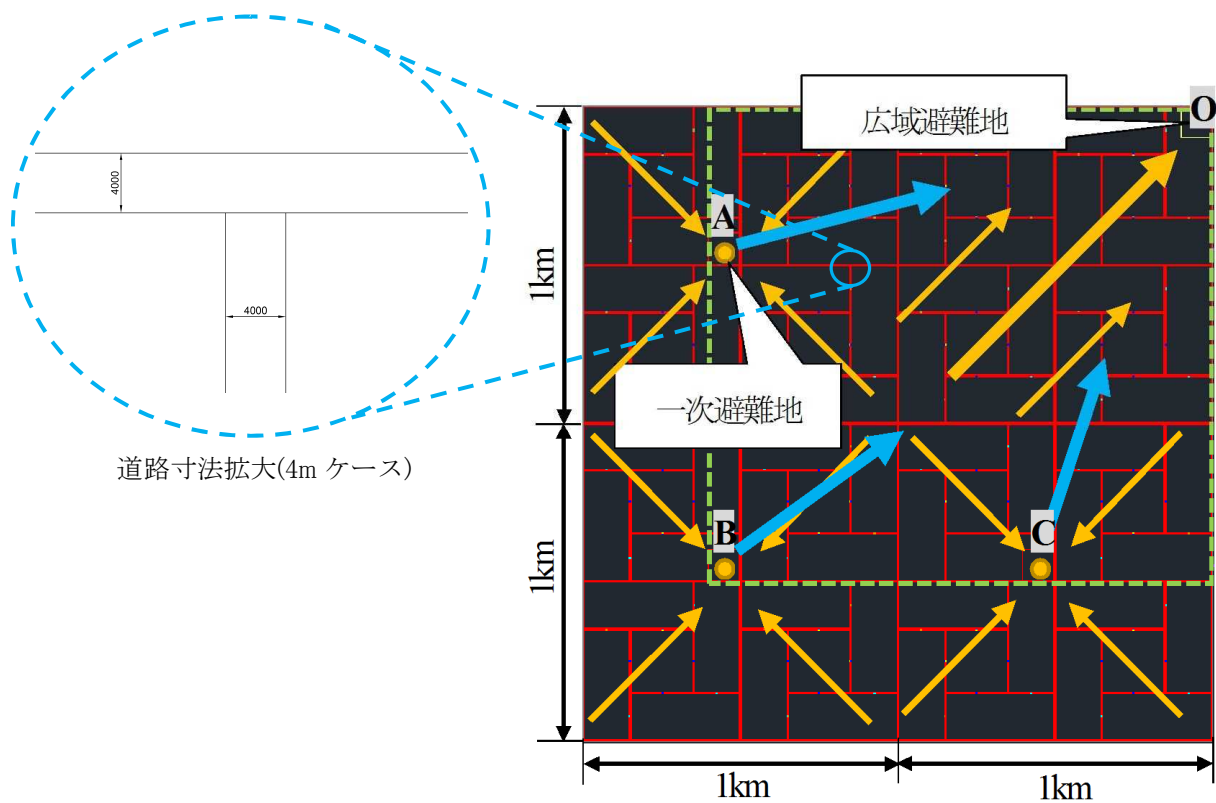
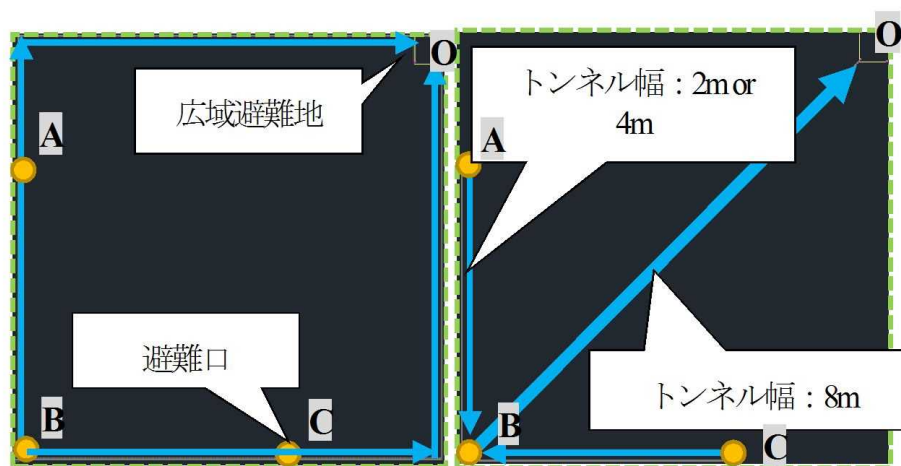


図 3-1 地上道路メッシュと避難行動イメージ



(モデル I)

(モデル II)

図 3-2 地下道路メッシュと避難経路

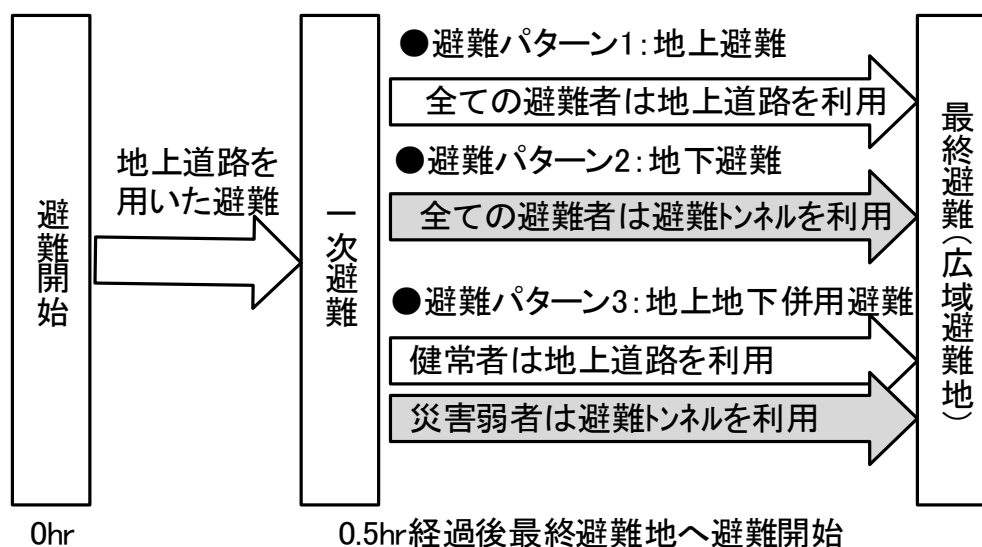
3.4 避難シナリオ設定

避難シナリオは、避難トンネルの特性を整理するため3つの避難パターンを設定する。(図 3-3)

避難シナリオは、通常の地上避難に対して避難トンネルを利用した場合の特性について避難時間を用いて比較検討を行うことを目的に3つの避難パターンとしている。避難の手順としては指針⁴⁾を参考として、大地震などの広域災害が発生した後に自治体や警察・消防等による避難勧告・避難指示を基に避難開始を行いこれを避難開始時間(0hr)として設定する。避難者は、1km²に設定された一次避難地を目指して避難を開始し各々一次避難地に到着し、その後に広域避難地を目指す(0.5hr 経過後)。ただし、前節の空間モデルの設定で記述したように、広域避難地と接するモデル右上の1km²のエリアの避難者は避難開始とともに一次避難地を兼ねる広域避難地を目指す避難を行う設定とした。

設定した3種類の避難パターンは、一次避難までは同一の条件となるが、一次避難地から最終避難地である広域避難地に避難していくための避難ルートと避難方法についてシナリオを分けるものである。

- ・避難パターン1は、全ての避難者は地上道路を利用して最終避難先となる広域避難地を目指す。
- ・避難パターン2は、一次避難後に全ての避難者は避難トンネルを利用して広域避難地を目指す。
- ・避難パターン3は、一次避難後に災害弱者は避難トンネルを利用し健常者は地上道路を利用して広域避難地を目指す



※避難トンネルに入った段階で安全空間とする

図 3-3 避難シナリオの設定

なお、一次避難地に到着した避難者は 0.5hr 経過するまで広域避難地へ移動を行わない理由として、広域避難地への避難開始指示を得るための時間想定としてシナリオ設定を行った。避難トンネルでの避難は、地上面を利用した避難計画と同様に一次避難地に到達した後に自治体等で計画されたリーダーにより目的地の明示と避難誘導を指導されるものとした。また、0.5hr 以内に一次避難地に到達した避難者は 0.5hr になるまで待機した後に広域避難地へ移動を開始する。0.5hr 以内に到達しなかった避難者は一次避難地到達後すぐに広域避難地への移動を開始する(図 3-1 青矢印)。なお、避難トンネルの避難口に入った避難者も安全空間に到達したものとする。

避難トンネルを利用した避難では、避難誘導を行っていることの他に、避難者の不安感の低減や安全な避難継続を目的に、建築・道路照明等に準拠²⁴⁾²⁶⁾した換気・照明・カメラ・放送設備等の各種設備を整備することで管理された避難環境を設けることとした。

3.5 避難者条件設定

避難者の歩行速度は、群集歩行速度に影響を与えることから表 3-1 に示す 3 種類の歩行速度を設定した。歩行速度別割合については、将来の高齢化による災害弱者の増加を考慮した図 1-4 に示した 65 歳以上人口の 23%~40%の概ね中間である 30%の設定とし、歩行速度としては遅い 0.5m/s とした。残りの 2/3 のうち通常歩行速度である 1.0m/s に 1/3、健常者のうちの若い人を想定し通常歩行より早い速度として 1.5m/s とし、避難者の避難速度のばらつきを表現した。歩行速度は、避難者 1 人毎に設定を行い歩行条件に偏りが生じないように人を配置する

表 3-1 に示す歩行速度条件は自由歩行状態であり分類した各歩行速度の上限として設定した。また、歩行シミュレーションソフト^{8), 9), 10), 12), 21)}で、避難時に群集の密度が高くなることによる速度低下や停滞等の歩行速度のばらつきを考慮している。

設定した空間モデルの避難人員は、都市圏を想定し約 18,000 人/km²の人口密度として 4km²で 72,000 人とし道路上に均等に配置する。設定した避難モデルのうち、図 3-1 に示す 4km²の正方形の空間モデル右上の 1km²の領域にいる 18,000 人は広域避難地に接するエリアとして常に地上を避難し広域避難地を目指すものとする。これは一次避難地と広域避難地を同じ場所として設定しているためである。その他の 3つの領域の避難者 54,000 人はシナリオにより地上もしくは地下を避難する。

全体の避難完了の判断としては、既往の検討事例⁴⁾を準用して 4km²で 72,000 人の 97%が広域避難地に避難を完了した時間を目標にする。

表 3-1 歩行速度条件

分類	歩行速度 (m/s)	割合 (一)	備考
速い	1.5	1/3	
通常	1.0	1/3	
遅い	0.5	1/3	災害弱者想定

3.6 解析ケース

避難トンネルを用いた避難シミュレーションを行うにあたり表 3-2 に示す 8 ケースにより解析を行う。解析に際しては、①地上道路幅による避難時間の影響②避難トンネル幅による避難時間の影響③避難行動パターンの違いによる避難時間の影響（地上のみ避難，避難トンネルのみでの避難，災害弱者のみ避難トンネルを利用した避難）④避難トンネルパターン（避難トンネルメッシュ形状）による避難時間の影響に着目した解析ケース選定とした。

表 3-2 解析ケース一覧

	地上道路幅	避難 トンネル幅	避難行動 パターン	避難トンネル モデル	1 次避難所 待機時間
Case-1 (基本ケース)	4 m	—	パターン 1	—	30 min
Case-2	8 m	—	〃	—	〃
Case-3	4 m	4 m	パターン 2	I	
Case-4	4 m	4 m	〃	II	
Case-5	4 m	4 m	パターン 3	I	
Case-6	4 m	4 m	〃	II	
Case-7	4 m	2 m	〃	I	
Case-8	4 m	2 m	〃	II	

3.7 避難トンネルによる避難時間比較検討

避難トンネルによる避難時間を検討するために、実施した 8 ケースについて目的別に比較を行う。

3.7.1 基本ケースによる避難時間

基本ケースとなる地上を用いた避難時間を、表 3-45 に示す。表 3-5 は上段に避難完了率を示したグラフを示し、中段以下に各時系列による避難状況を視覚化した図を示している。

避難完了率を示すのグラフは、縦軸に避難完了率、横軸に避難開始からの経過時間とし、4km² 内の避難者すべての避難完了状況を灰色の線、1km² 内の避難者が 1 次避難地もしくは広域避難地に一次避難する状況を青色の線で示している。また、グラフ下部に示す避難完了時間は①に示す時間は 4km² の避難者全体の 97%避難完了時間、④に示す時間が避難者全体の 97%が、一次避難で避難した時間を示している。

避難開始 10 分後の状況は、各エリアに配置された一次避難地と右上に設置された一次避難地を兼ねる広域避難地にむけて一斉に移動を開始している状況となる。避難開始 30 分後においては、3 箇所の一次避難地に概ね避難をしている状況となり、一次避難地を兼ねる広域避難地を目指し避難を行っている右上のエリアは避難を継続中となっている。避難完了率を示すグラフより広域避難地へ避難している避難者は全体の 10%強であり、右上の 1km² の避難者 18,000 人に対しての避難完了率としては 4 割強が一次避難地を兼ねる広域避難地に到達している状況となる。これらより、1km² あたりに 1 箇所設置する一次避難地は、災害発生直後から短時間に一次避難が可能となることを示している。

次に避難開始 30 分以降は、3 箇所の一次避難地より広域避難地に向けて避難を開始している。避難開始約 1 時間で一次避難の避難完了率が 97%に至っていることから、右上 1km² エリアの避難者が広域避難地へ避難を完了していることを示している。次に避難開始 3 時間 30 分後において 3 箇所の一次避難地から右上の広域避難地に概ね 90%以上が避難を行っており最終的には 4 時間弱で避難完了 97%に至る結果となる。

次に避難完了率の傾き着目した場合、一次避難完了率（青線）は避難開始から 0.74hr までは概ね一定の避難完了率の増加傾向となっているが、0.74hr 以降の避難完了率は鈍化していることが確認できる。この傾向を整理するために、避難完了率から避難者人数に割戻し経過時間で除した数値を単位時間当たりの平均避難者数（R）として次のように定義して傾きを整理する。

$$R = \frac{\text{避難完了率}(-) \times \text{避難対象者数 (人)}}{\text{時間(min)}}$$

表 3-3 に整理するように、一次避難地への避難完了率が 0.9 を越えるまでは順調に避難が継続しており単位時間当たりの避難者数は 1492 人/min と高く推移していることが確認できるが避難完了率が 0.9 から 1.0 に至る際に 126 人/min と大きく避難者数 R が低くなる。これは一次避難地の入口に人が停滞している状況となっているため発生していることによるもので、一次避難地の入口寸法や一次避難地での避難者の滞留状況の工夫が必要であることがわかる。最終避難の避難者数 R は避難率 0.91 までの概ね一定の傾きで上昇しつづけるが、避難完了率が 0.91 を越える付近から避難率の上昇が若干鈍化する。これは広域避難地入り口での滞留が発生していることに起因する。

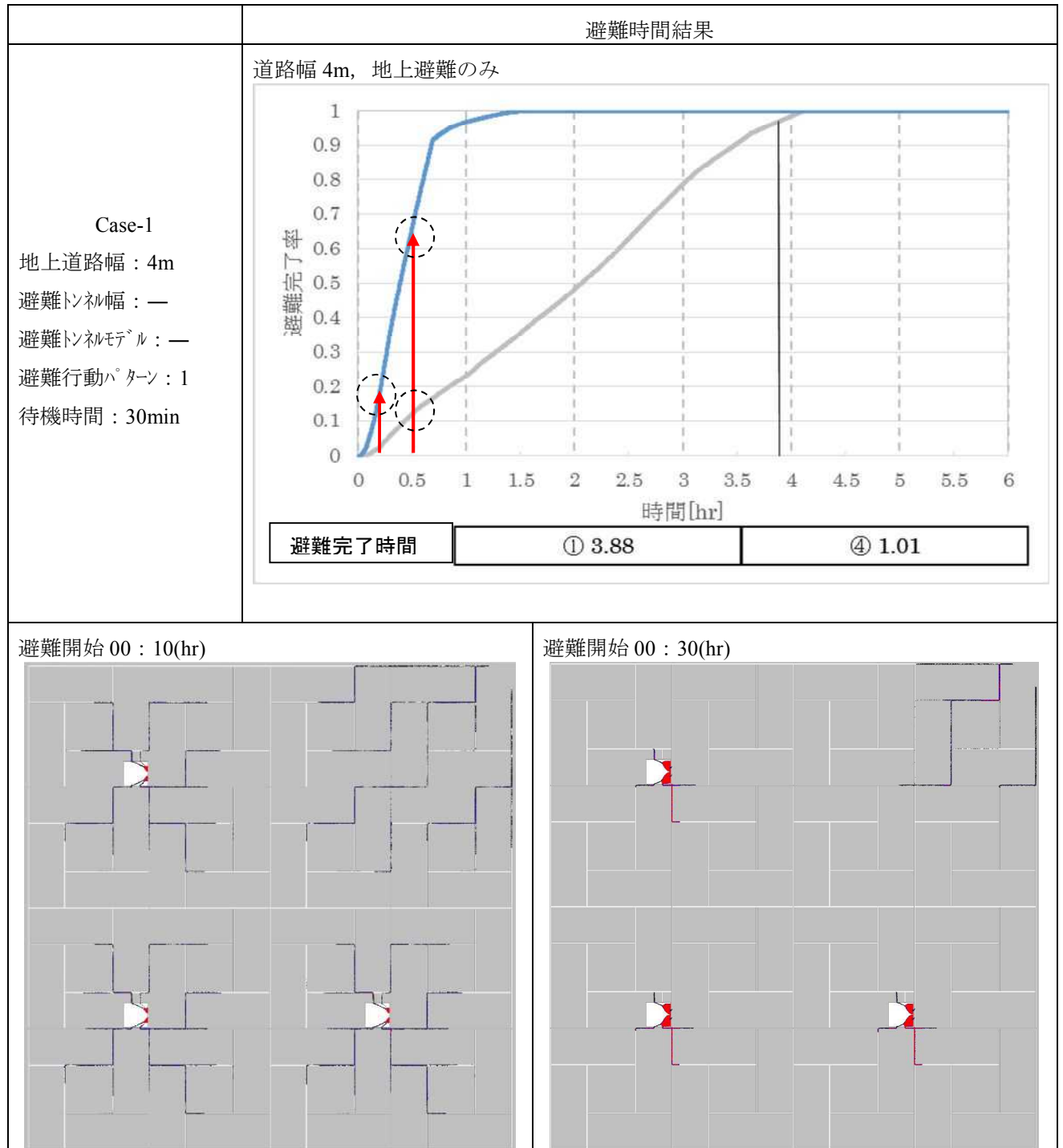
このため、地上避難においては避難路幅の拡幅と同時に、一次避難地や広域避難地への入り口の工夫が必要である。

表 3-3 単位時間当たりの避難者数 R (Case-1)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.74hr	1492 人/min (0.92)	0hr-3.53hr	309 人/min (0.91)
0.74hr-1.50hr	126 人/min (1.0)	3.53hr-4.03hr	213 人/min (1.0)
全体平均	800 人/min	全体平均	297 人/min

() 内は避難完了率

表 3-4 基本ケースにおける避難状況（地上避難のみ）

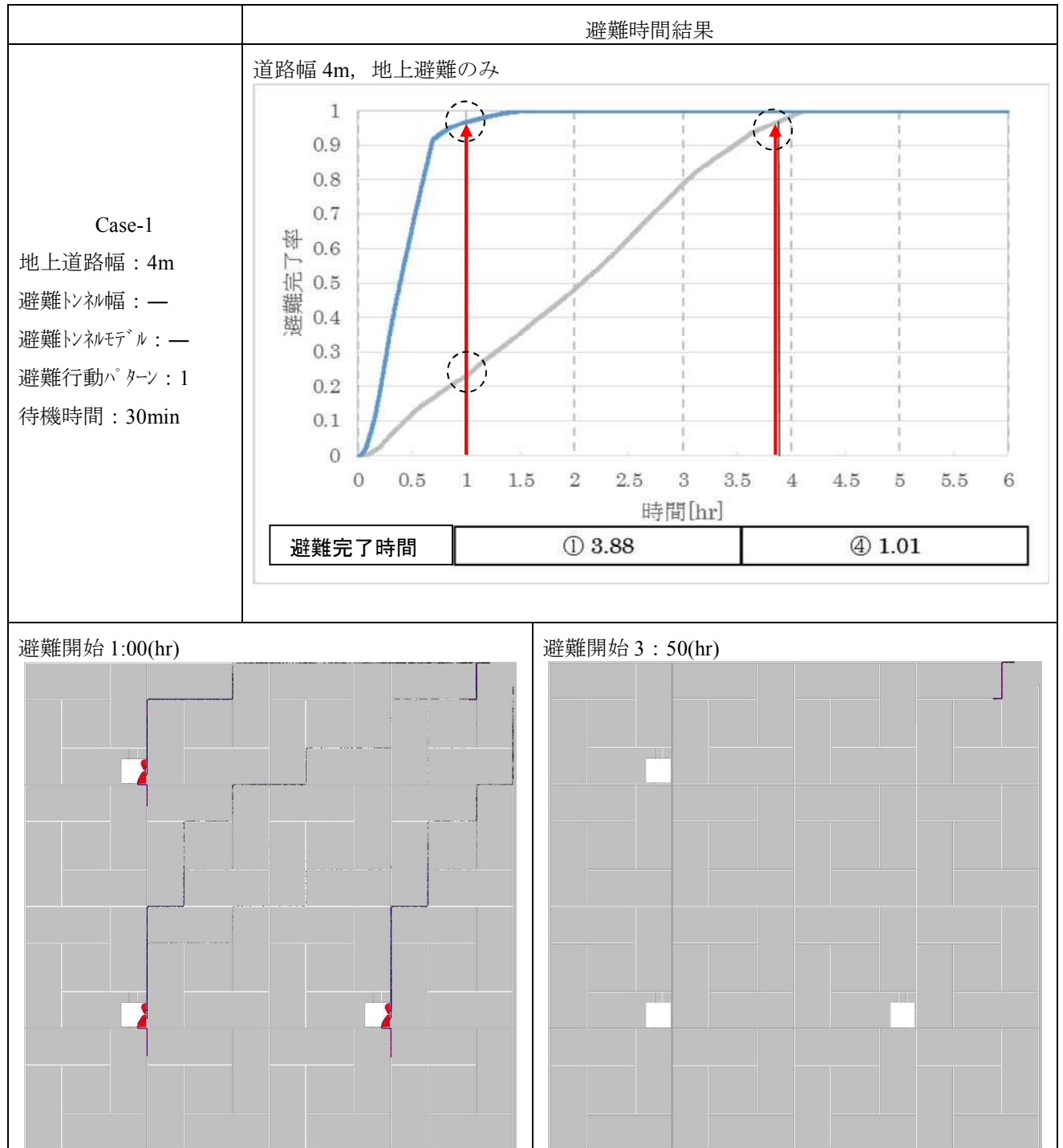


黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 3-5 基本ケースにおける避難状況（地上避難のみ）



黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

3.7.2 地上避難による道路幅の影響

広域避難において道路幅は、群集の避難時間に影響を及ぼす。このため道路幅 4m と避難経路対策として道路幅を拡幅する 8m と基本ケース（Case-1）との違いについて解析した結果を表 3-7 に示す。Case-1 の 4m 道路幅を用いた地上避難時間は広域避難地までの所要時間が 4.1hr 程度を必要としており、Case-2 の道路幅を拡幅して 8m 道路幅の対策を用いると、3.6hr となり約 0.5hr の短縮する。これにより地上道路の拡幅の効果は 1 割強の避難時間の短縮が期待できる。また、Case-2 の一次避難地までの移動時間は 1.5hr 程度かかっている。

単位時間当たりの避難者数 R は、基本ケースの Case-1 と比較すると全体平均の避難者数 R は増加が確認され、道路幅を 4m から 8m に拡幅したことの効果であることがわかる。一次避難及び広域避難の途中段階の避難率は道路幅が 4m の条件と大幅には変化がなく、避難地の入口が影響している。また、最終避難の全体平均避難者数は R 増えていることから道路幅拡幅による効果が確認できる。一方で最終避難の後半となる 3.39hr～3.79hr の時間帯では避難者数が減少しており、道路幅拡幅により早期に避難者が広域避難地付近に至ることから滞留が発生している状況となる。

表 3-6 単位時間当たりの避難者数 R（Case-2）

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.71hr	1588 人/min (0.94)	0hr-3.39hr	343 人/min (0.97)
0.71hr-1.50hr	141 人/min (1.0)	3.39hr-3.79hr	90 人/min (1.0)
全体平均	800 人/min	全体平均	316 人/min

（ ）内は避難完了率

表 3-7 地上道路幅の違いによる避難時間比較（地上避難のみ）

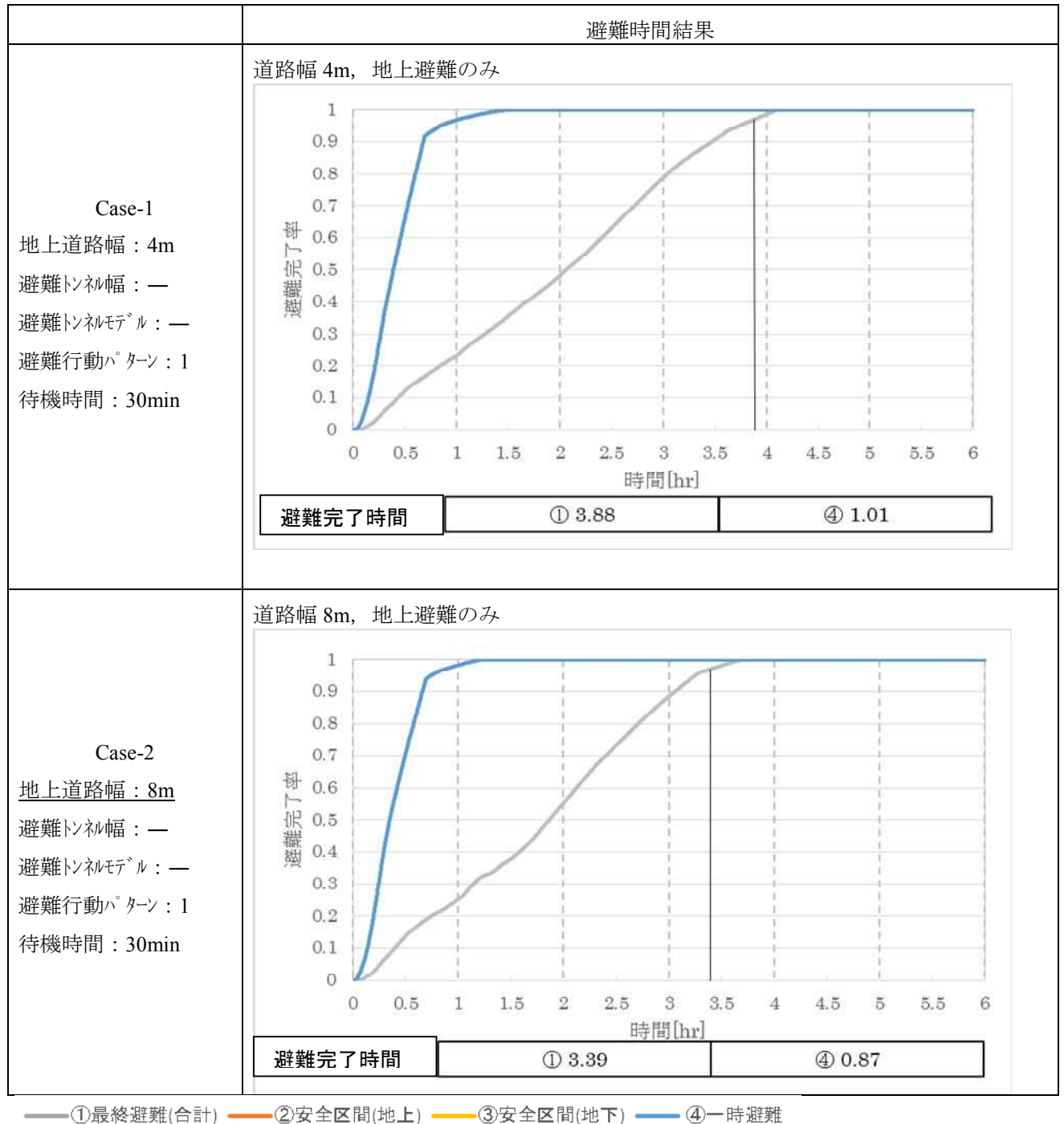
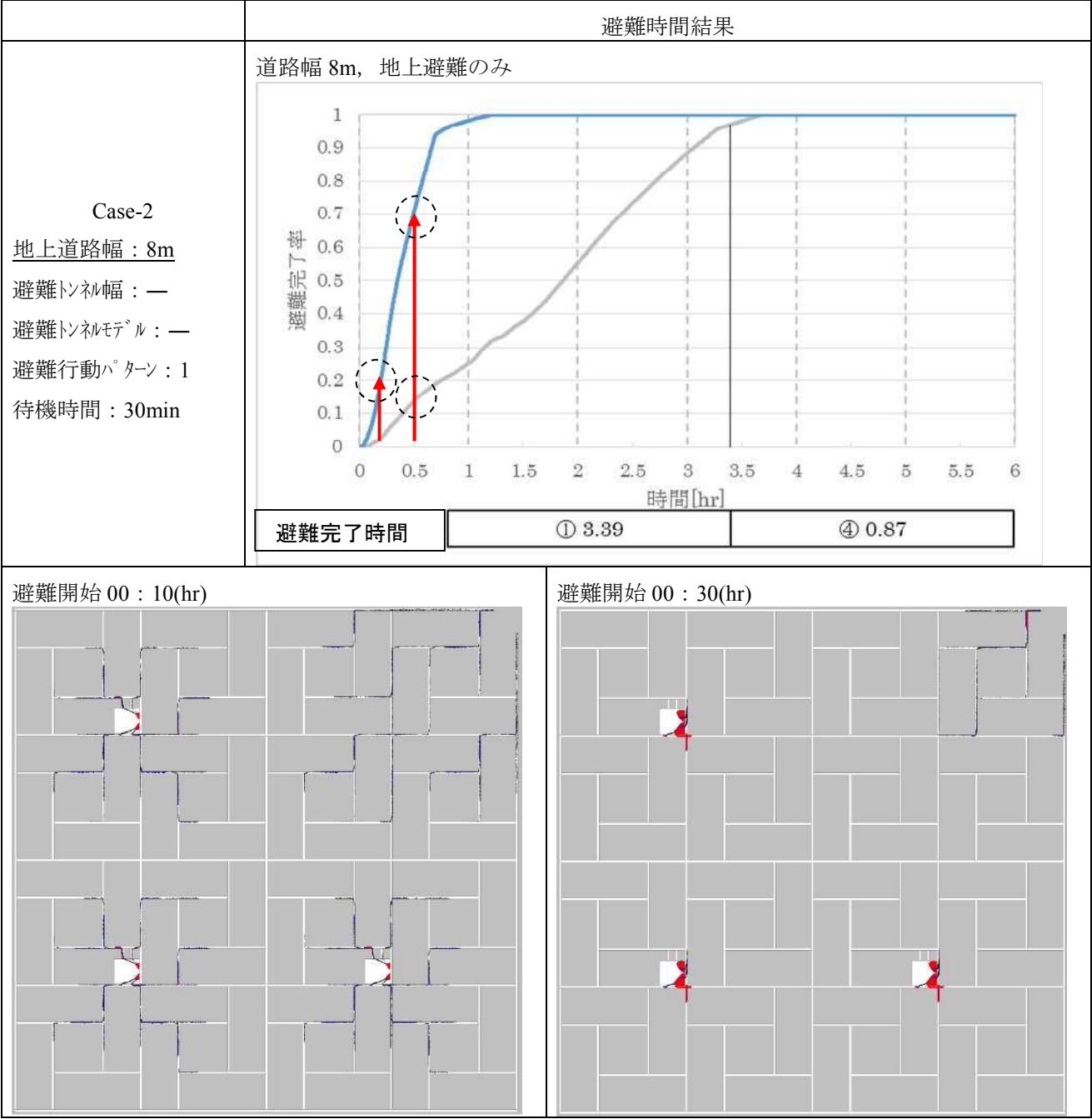
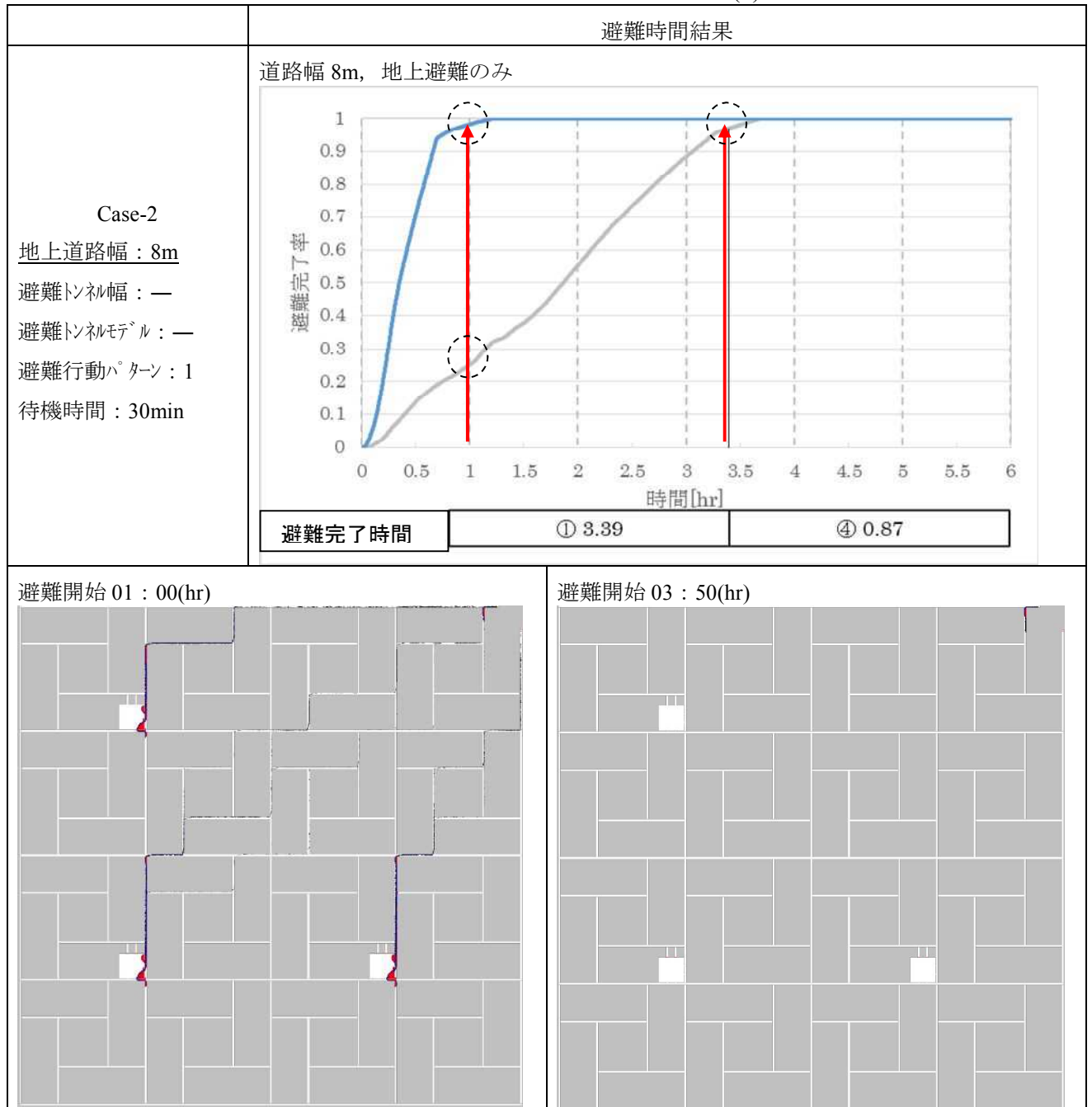


表 3-8 地上道路幅 8m における避難状況(1)



黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
赤＝歩行者が止まっている状態

表 3-9 地上道路幅 8m における避難状況(2)



黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

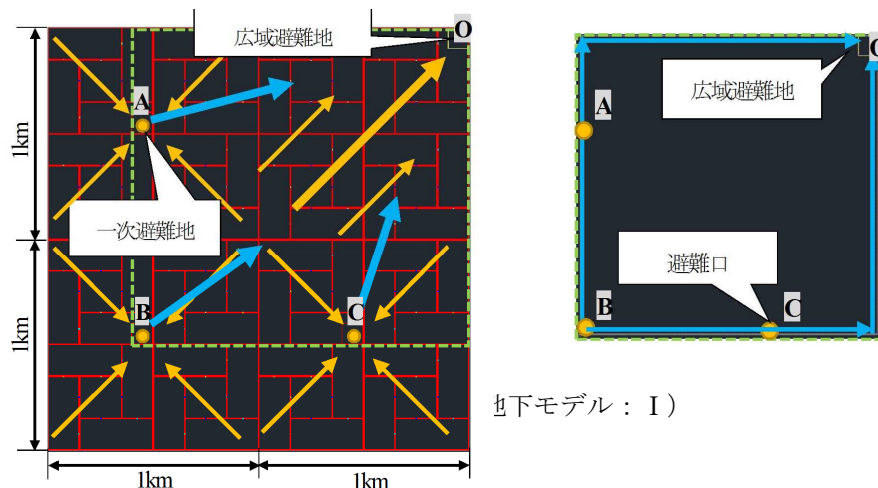
赤＝歩行者が止まっている状態

3.7.3 避難トンネルを利用した際の避難時間

表 3-12 は、地上道路のみを利用して避難を行った Case-1 と地下の避難トンネルのみを利用して避難を行った Case-3 のシミュレーション結果である。但し、避難シナリオ設定に示したように広域避難地に接する 1km 四方のエリアの避難者は全てのケースにおいて地上避難を行っている。

表 3-12 の Case-3 の避難率に示す橙色のラインは地上経路を利用する避難者が安全区間（広域避難地）に到達した避難完了率を示しており、これに対応する②の時間は地上避難者のうち 97%が広域避難地に到達した時点での時間を示している。また、同じ避難グラフの黄色のラインは避難トンネルを利用する避難者が安全区間（地下の避難トンネル）に到達した避難完了率を示しており、これに対応する③の時間は①と同様に地下を利用した避難者のうち 97%が避難を完了した時間を示している。このため灰色のラインは地上を利用した避難者と地下の避難トンネルを利用した避難者が安全区間（広域避難地、又は避難トンネル）に到達した避難率を示したものである。

Case-1 に示す地上道路幅 4m での避難時間は、前節と同様に広域避難地までの所要時間が 3.88hr 程度を必要としている。これに対し Case-3 で示す避難トンネルを利用して全ての避難者が地下に避難を行う場合、広域避難地への避難完了時間は 5.93hr となる。これは図 3-4 に示す左下の避難口 B から A または C を通過する際に、避難口 A 及び避難口 C から避難トンネルに進入した避難者の合流により混雑が生ずる影響である。このため、一次避難地から安全空間とした地下の避難トンネルに到達できず、避難口の周りで停滞するため地上避難のみの対策よりも避難率が悪くなる。



(地上モデル)

図 3-4 避難トンネルメッシュモデル（タイプ I）

単位時間当たりの避難者数 R で避難状況を分析すると、広域避難地への最終避難での全体平均避難者数は Case-1 の 297 人/min と比較して 196 人/min と大幅に減少している。これは表 3-11 の「安全空間：地下」に示すように避難トンネルに到達できた避難者数の少なさが要因となっており、地下の避難トンネル合流部 A 及び C 地点での滞留が一次避難地に設けた避難トンネルの入口部まで影響を及ぼしているためである。

表 3-10 単位時間当たりの避難者数 R(Case-3)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.74hr	1508 人/min (0.93)	0hr-1.47hr	351 人/min (0.97)
0.74hr-1.50hr	110 人/min (1.0)	1.47hr-5.93hr	145 人/min (1.0)
全体平均	800 人/min	全体平均	196 人/min

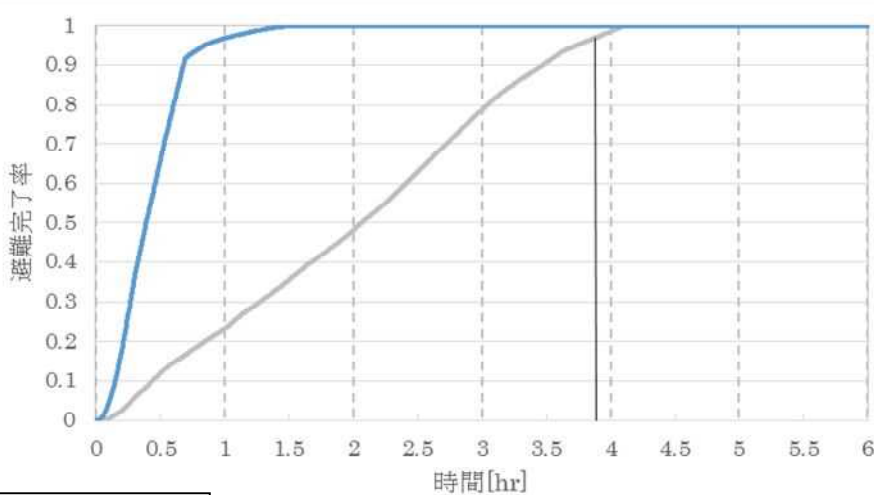
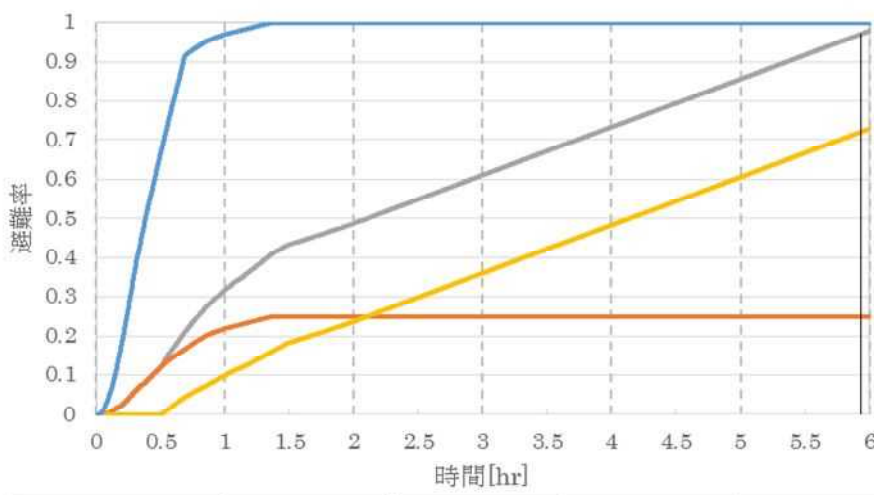
() 内は避難完了率

表 3-11 単位時間当たりの避難者数 R (安全空間：地上，地下) (Case-3)

時間	安全空間：地上	時間	安全空間：地下
0hr-0.74hr	276 人/min (0.17)	0hr-1.49hr	145 人/min (0.18)
0.74hr-1.50hr	126 人/min (0.25)	1.49hr-6.0hr	146 人/min (0.73)
全体平均	200 人/min	全体平均	146 人/min

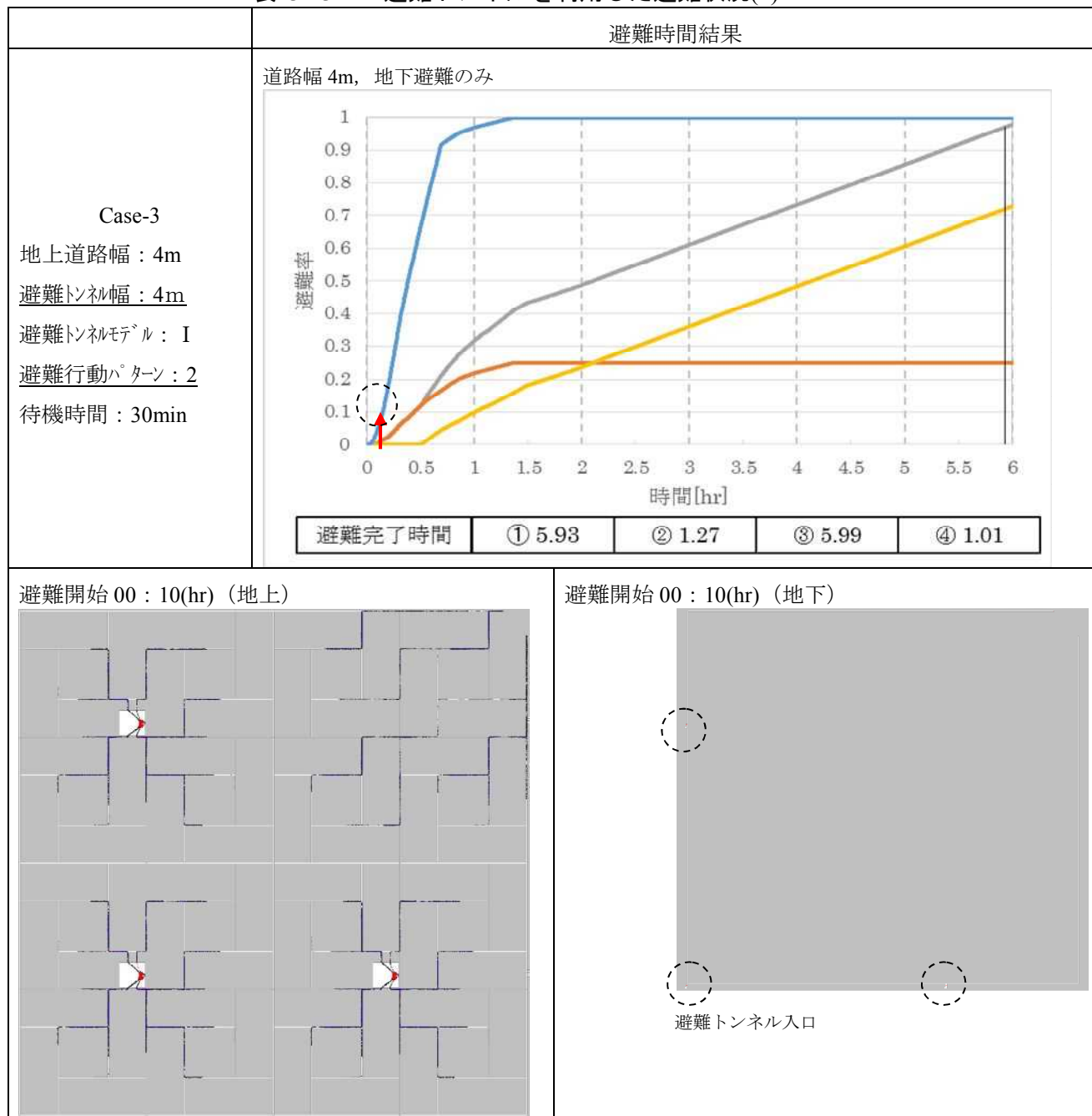
() 内は避難完了率

表 3-12 地上避難と避難トンネル避難の違いによる避難時間比較

	避難時間結果
<div>Case-1</div> <div>地上道路幅：4m</div> <div>避難トンネル幅：—</div> <div>避難トンネルモデル：—</div> <div>避難行動パターン：1</div> <div>待機時間：30min</div>	<div>道路幅 4m, 地上避難のみ</div> <div></div> <div><div>避難完了時間</div><div>① 3.88</div><div>④ 1.01</div></div>
<div>Case-3</div> <div>地上道路幅：4m</div> <div>避難トンネル幅：4m</div> <div>避難トンネルモデル：I</div> <div>避難行動パターン：2</div> <div>待機時間：30min</div>	<div>道路幅 4m, 地下避難のみ</div> <div></div> <div><div>避難完了時間</div><div>① 5.93</div><div>② 1.27</div><div>③ 5.99</div><div>④ 1.01</div></div>

—①最終避難(合計) —②安全区間(地上) —③安全区間(地下) —④一時避難

表 3-13 避難トンネルを利用した避難状況(1)

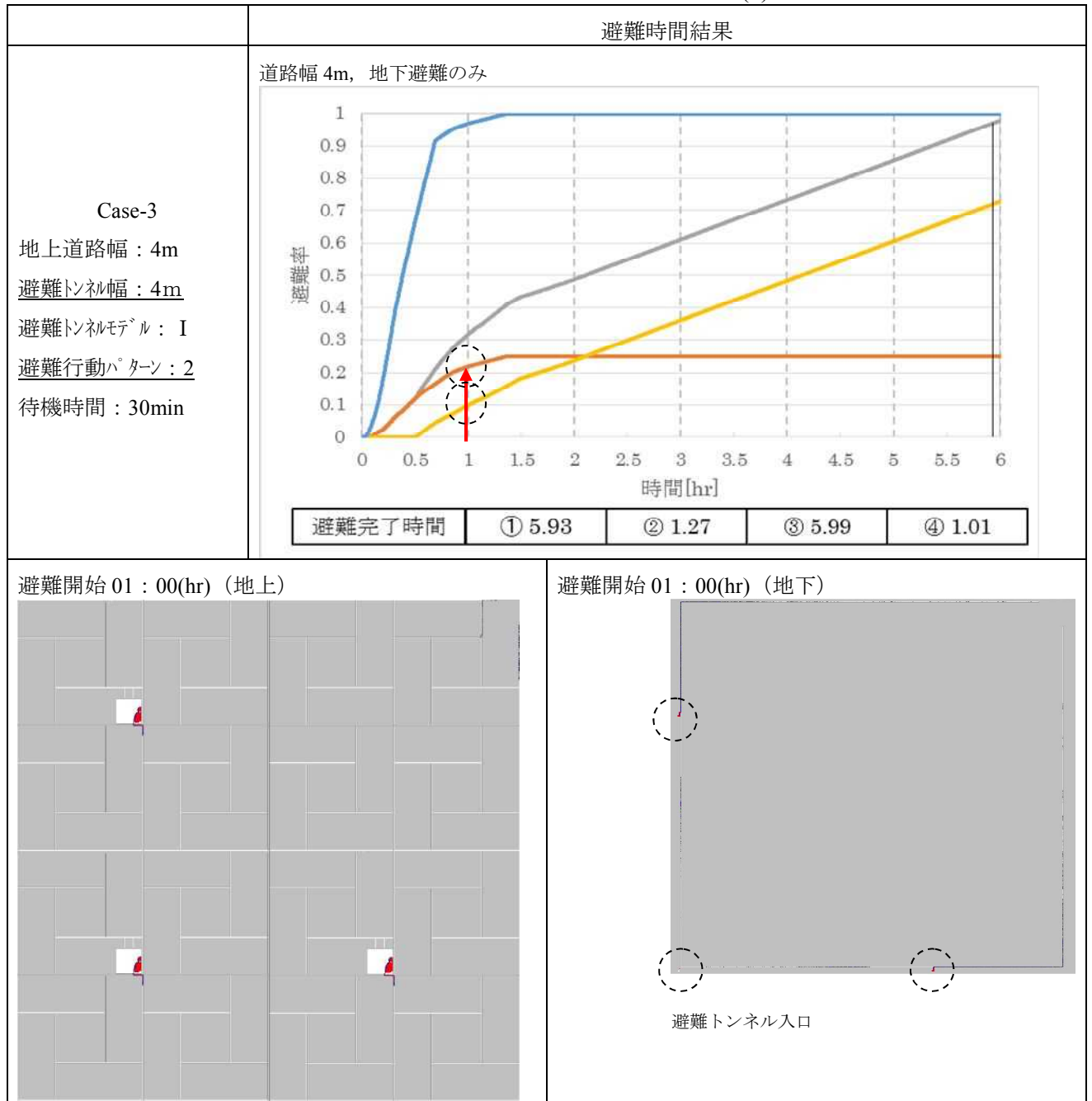


黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 3-14 避難トンネルを利用した避難状況(2)

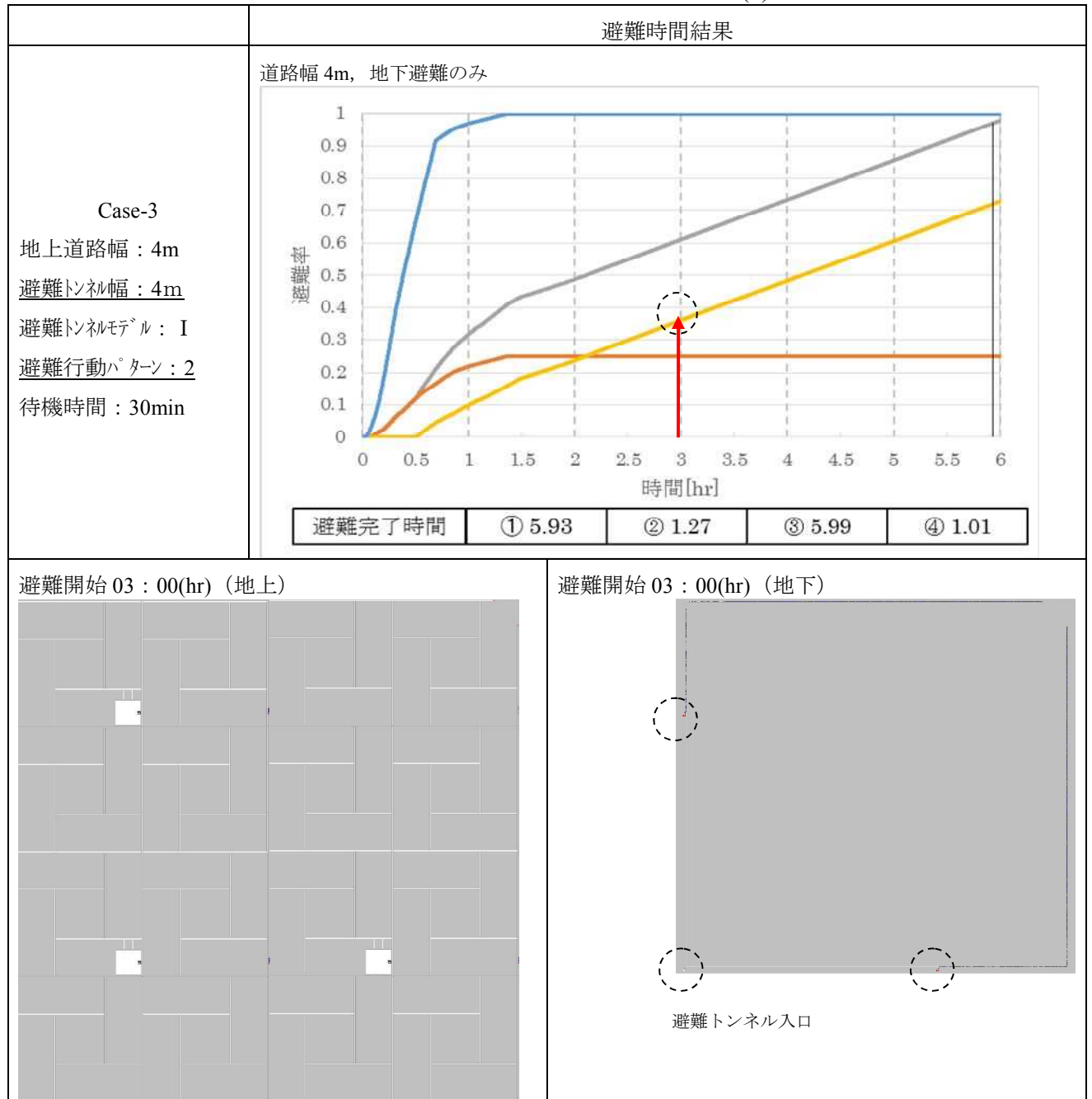


黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 3-15 避難トンネルを利用した避難状況(3)



黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

3.7.4 避難トンネル（地下モデル）による影響

表 3-18 に示す Case-3,4 は、避難者が地下の避難トンネルのみを利用して避難を行った場合の地下モデルの違いによるシミュレーション比較結果である。前節と同様に、広域避難地に接する 1km 四方のエリアの避難者は両ケースにおいて地上避難を行っている。

地上道路幅を 4m とし、全ての避難者が避難トンネルを利用して避難を行う場合の避難時間について、表 3-18 に浅深度のモデルⅠの解析結果と大深度のモデルⅡの Case-4 に示す。避難トンネルのモデルの違いについては計画・施工の観点からの違いであり、地上避難経路である道路下部を利用して避難トンネルを設けた場合がモデルⅠ、避難トンネルの施工延長を短くするために大深度でのトンネル施工を考えた場合がモデルⅡとなる。

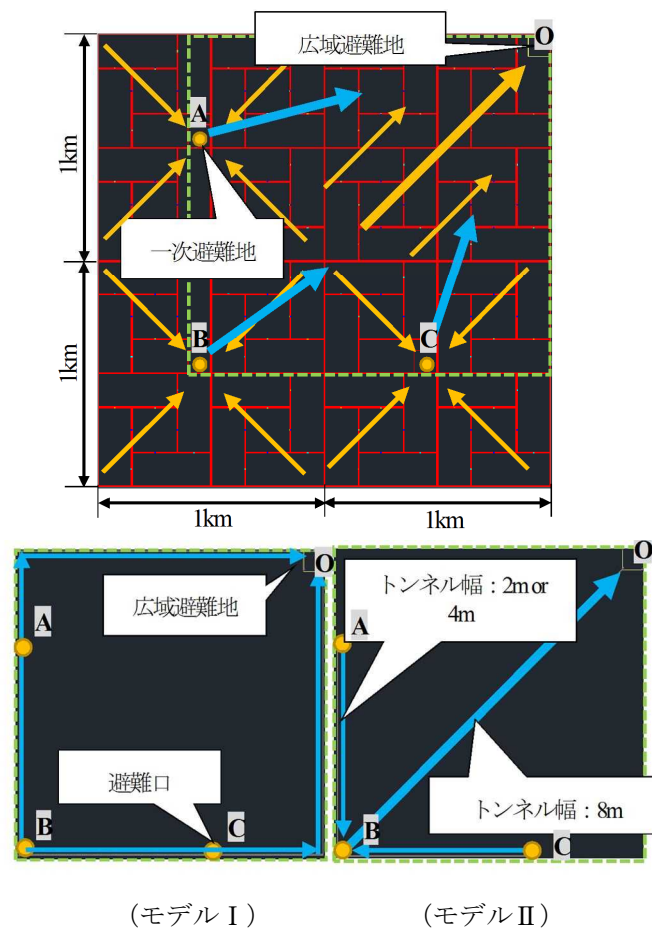


図 3-5 避難トンネルメッシュモデル（タイプⅠ及びⅡ）

Case-3 は、図 3-5 に示す左下の避難口 B から A または C を経由し避難トンネルを歩行する経路の途中で、避難口 A 及び避難口 C からの避難者の合流により混雑が生ずる。このため、解析時間内に安全空間である避難トンネルへ降りることができず避難口の周りで停滞するため地上避難よりも避難率が悪い。これに対し、Case-4 は図 3-5 に示す避難者が合流する左下の避難口 B から広域避難地に向かう避難トンネル幅が 8m 設定していることから混雑が生じない。このため、全体の避難完了時間は 2.88hr 程度となり基本とする Case-1 と比較しても 1 時間程度の避難時間の短縮が期待できるほか、道路幅を拡幅して 8m とした Case-2 と同程度の効果が期待できる。

表 3-16、表 3-17 に示す単位時間当たりの避難者数 R で示されるように、最終避難の全体平均避難者数や「安全空間：地下」の避難者数 R が改善されていることが確認できる。このため、避難者の合流を考慮した避難トンネルの経路構成も全体避難の影響があることがわかる。

表 3-16 単位時間当たりの避難者数 R(Case-4)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.77hr	1449 人/min (0.93)	0hr-2.26hr	478 人/min (0.90)
0.77hr-1.52hr	112 人/min (1.0)	2.26hr-3.46hr	100 人/min (1.0)
全体平均	947 人/min	全体平均	347 人/min

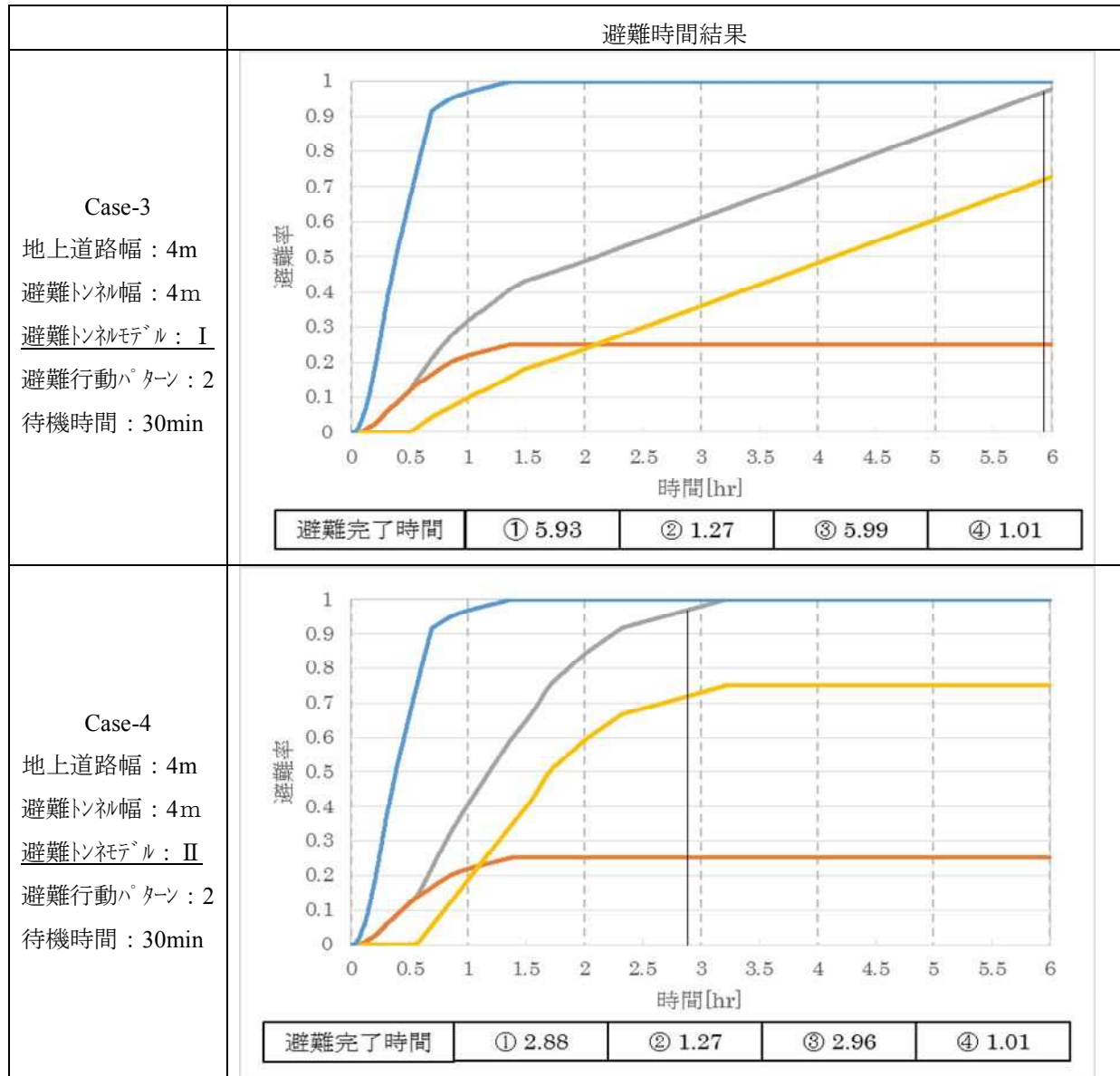
() 内は避難完了率

表 3-17 単位時間当たりの避難者数 R (安全空間：地上，地下) (Case-4)

時間	安全空間：地上	時間	安全空間：地下
0hr-1.36hr	220 人/min (0.25)	0hr-2.31hr	343 人/min (0.66)
		2.31hr-3.26hr	113 人/min (0.75)
全体平均	220 人/min	全体平均	276 人/min

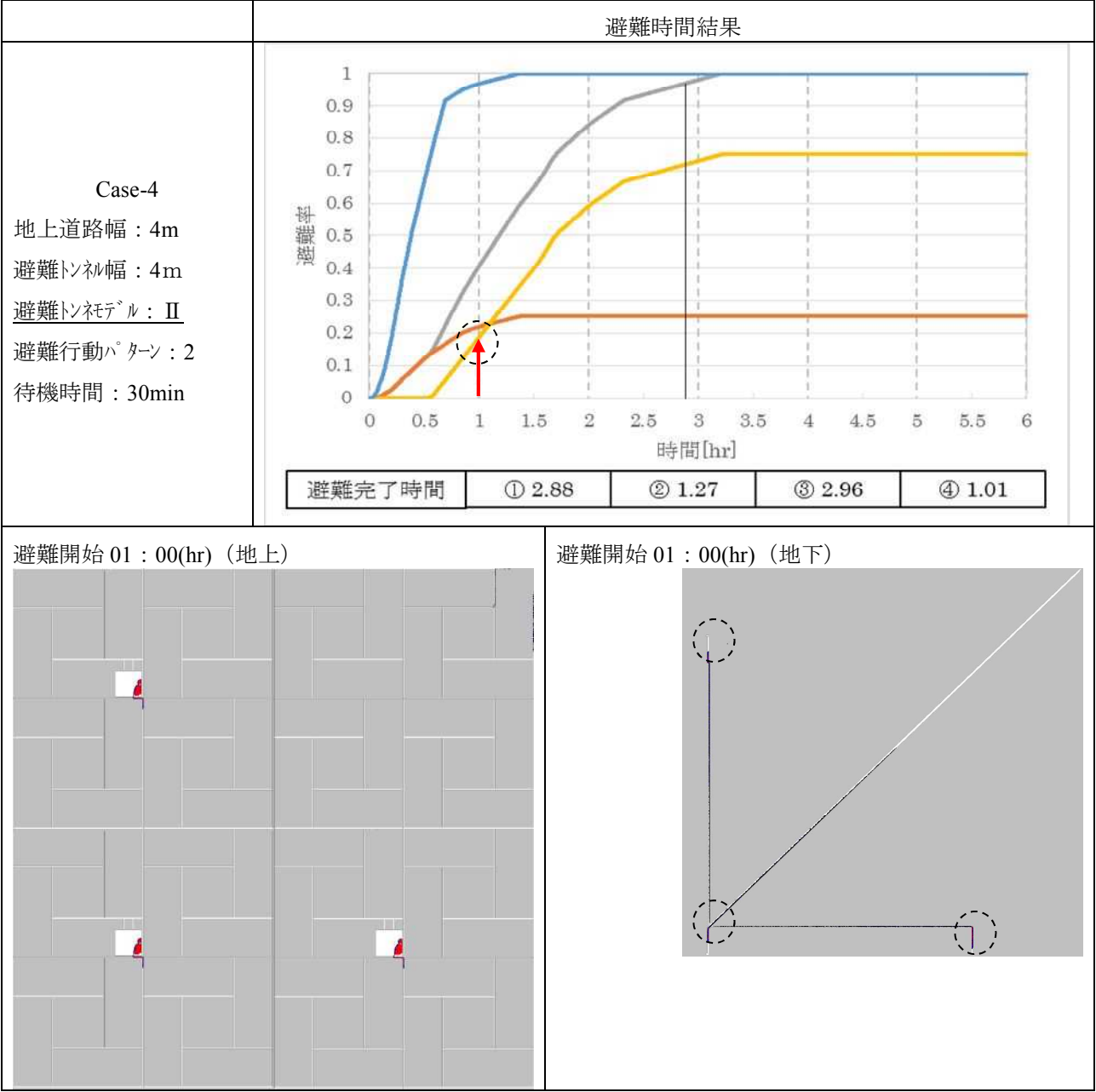
() 内は避難完了率

表 3-18 避難トンネル（地下モデル）の違いによる避難時間比較



—①最終避難(合計) —②安全区間(地上) —③安全区間(地下) —④一時避難

表 3-19 地下モデルⅡによる避難状況(1)

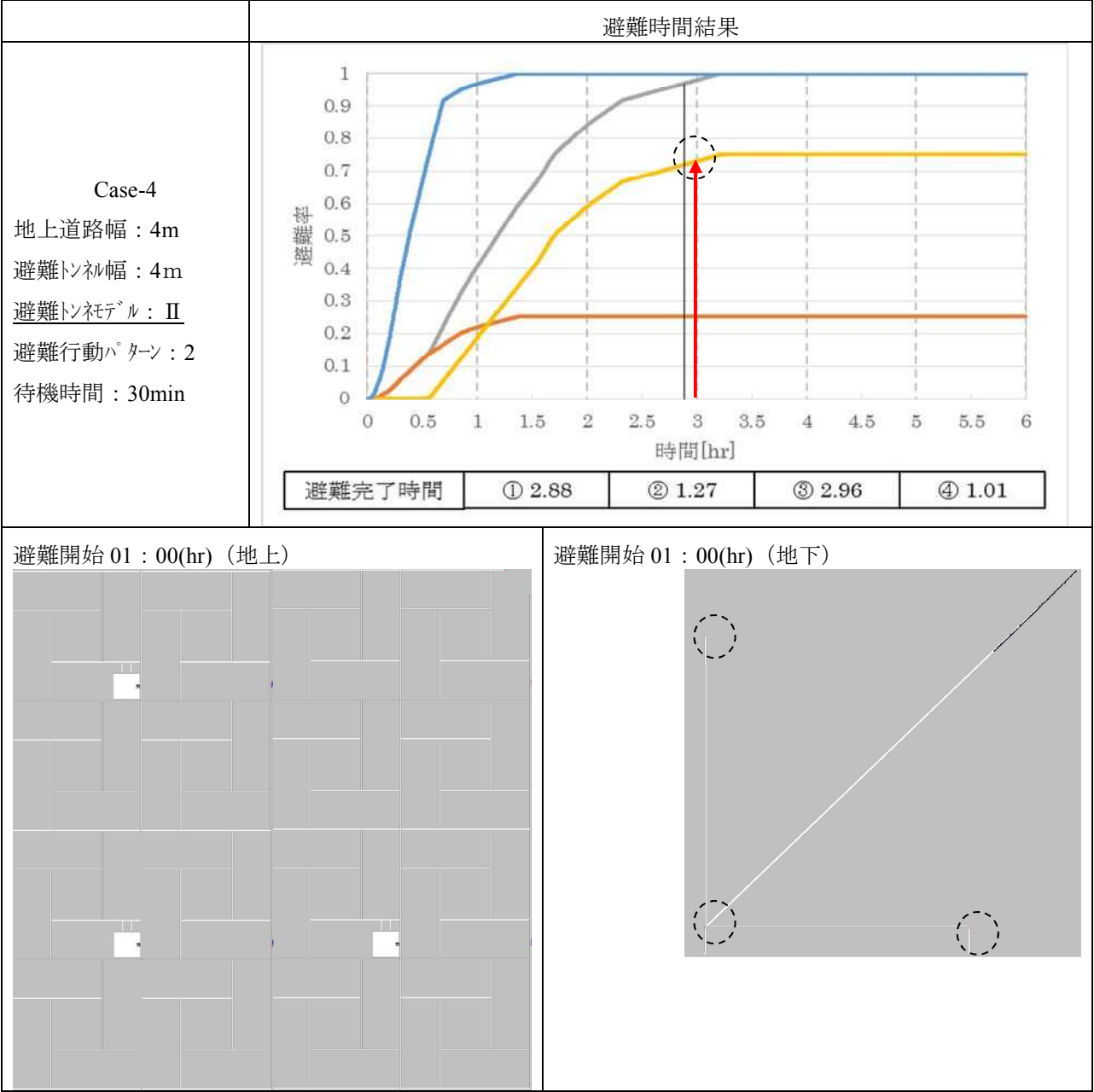


黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 3-20 地下モデルⅡによる避難状況(2)



黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

3.7.5 災害弱者のみ避難トンネルを併用した際の避難時間

表 3-23 は避難に時間を要する災害弱者（歩行速度 0.5m/s）の内一次避難地 3 箇所に移動する 18,000 人（災害弱者全数の 3/4, 避難人員の 1/5）を対象に避難トンネルを利用し、その他の避難者は地上避難をさせることにより避難トンネルへの密集割合を低減させた Case-5 についての結果である。避難トンネルモデルは地上避難よりも避難時間を要したトンネルモデル I を用いて Case-3 との比較を行う。

表 3-23 に示すように Case-3 は避難トンネル内の合流が要因となり安全空間である避難トンネルへの避難完了に 5.99hr 以上を要した。一方、Case-5 は同じトンネルモデルを用いて災害弱者のみが避難トンネルを利用する避難行動パターン 3 に変更したケースである。健常者及び避難速度が速い避難者が 4m 幅の地上道路を利用して避難し、災害弱者のみが避難トンネルを利用することに変更したことにより③安全区間(地下)への避難時間が改善され 1.94hr となる。これは、避難トンネルモデルの工夫をするよりも効果が高く、地上のみを利用しての避難より移動距離が少ないことから災害弱者への対応として望ましい。また、最終避難の避難完了時間も 2.34hr となり、基本とする Case-1 よりも約 1 時間 30 分、地上道路幅を 8m に拡張した地上避難 Case-2 よりも約 1 時間の避難時間短縮効果が期待できる。

表 3-21, 表 3-22 に示すように単位時間当たりの避難者数 R のうち, 最終避難の全体平均は同じ避難トンネルモデルである Case-3 に対し大きく改善されている. 全体平均に着目し各避難行動における避難者数 R を比較すると, 最終避難の全体平均は 297 人/min (Case-1) 196 人/min (Case-3) と比較すると 482 人/min (Case-5) であり, 災害弱者が避難トンネルを利用する避難パターンの効果が期待できる. また, 地上を利用して避難する避難者総数が少なくなり, かつ避難速度が速い群集で構成されることから地上における避難も併せて効果が期待できる.

表 3-21 単位時間当たりの避難者数 R(Case-5)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.72hr	1533 人/min (0.92)	0hr-2.01hr	543 人/min (0.91)
0.72hr-1.54hr	117 人/min (1.0)	2.01hr-2.49hr	225 人/min (1.0)
全体平均	779 人/min	全体平均	482 人/min

() 内は避難完了率

表 3-22 単位時間当たりの避難者数 R (安全空間 : 地上, 地下) (Case-5)

時間	安全空間 : 地上	時間	安全空間 : 地下
0hr-1.03hr	291 人/min (0.25)	0hr-1.97hr	152 人/min (0.25)
1.03hr-1.90hr	524 人/min (0.63)		
1.90hr-2.49hr	223 人/min (0.74)		
全体平均	361 人/min	全体平均	152 人/min

() 内は避難完了率

表 3-23 避難トンネル避難利用者の違いによる避難時間比較

	避難時間結果
<p>Case-3</p> <p>地上道路幅：4m</p> <p>避難トンネル幅：4m</p> <p>避難トンネルモデル：I</p> <p>避難行動パターン：2</p> <p>待機時間：30min</p>	<p>全ての人は避難トンネルを利用</p> <p>避難完了時間 ① 5.93 ② 1.27 ③ 5.99 ④ 1.01</p>
<p>Case-5</p> <p>地上道路幅：4m</p> <p>避難トンネル幅：4m</p> <p>避難トンネルモデル：I</p> <p>避難行動パターン：3</p> <p>待機時間：30min</p>	<p>災害弱者のみ避難トンネルを利用</p> <p>避難完了時間 ① 2.34 ② 2.38 ③ 1.94 ④ 1.01</p>

——①最終避難(合計) ——②安全区間(地上) ——③安全区間(地下) ——④一時避難

表 3-24 災害弱者のみが避難トンネルを利用する避難状況(1)

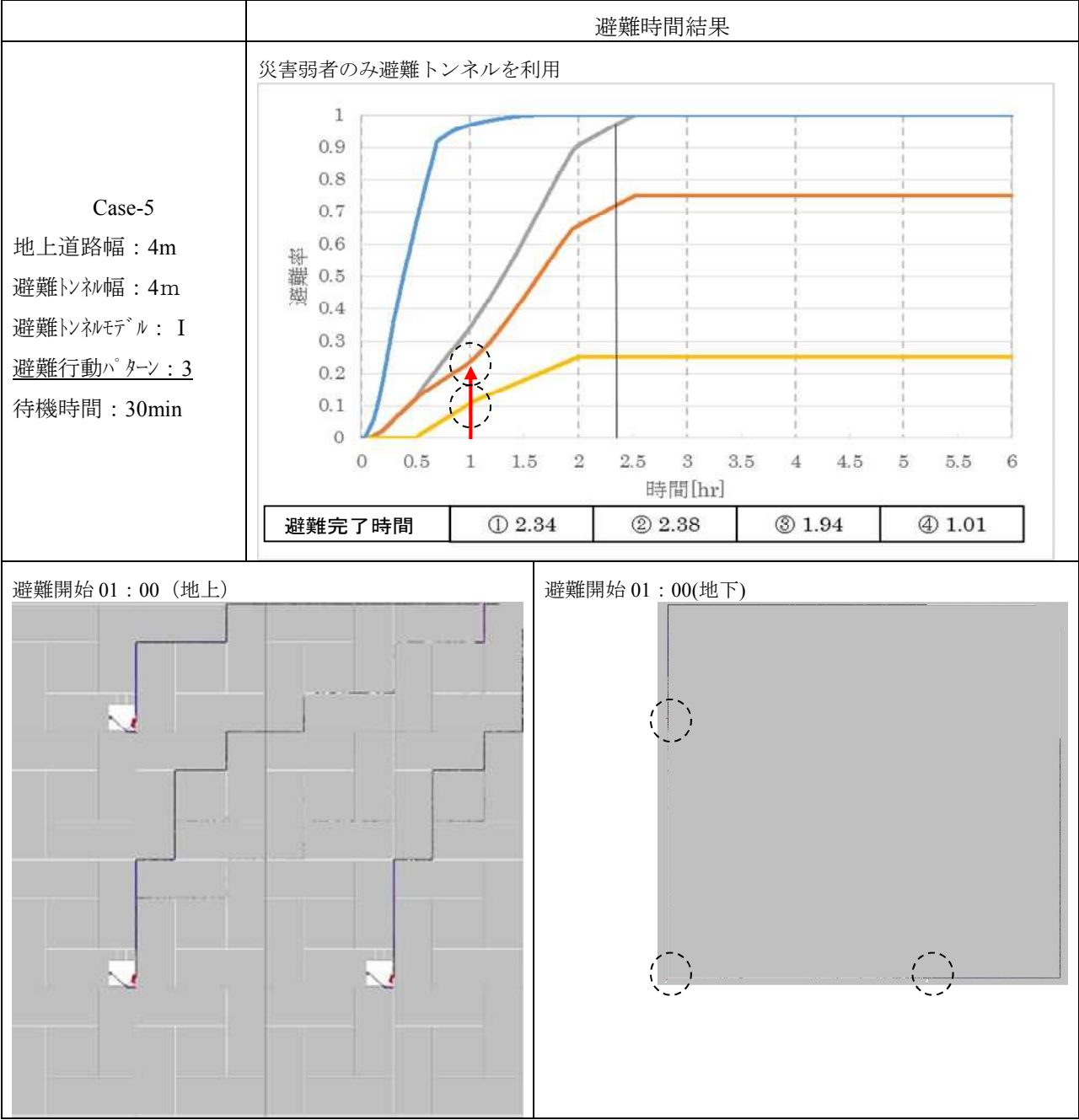
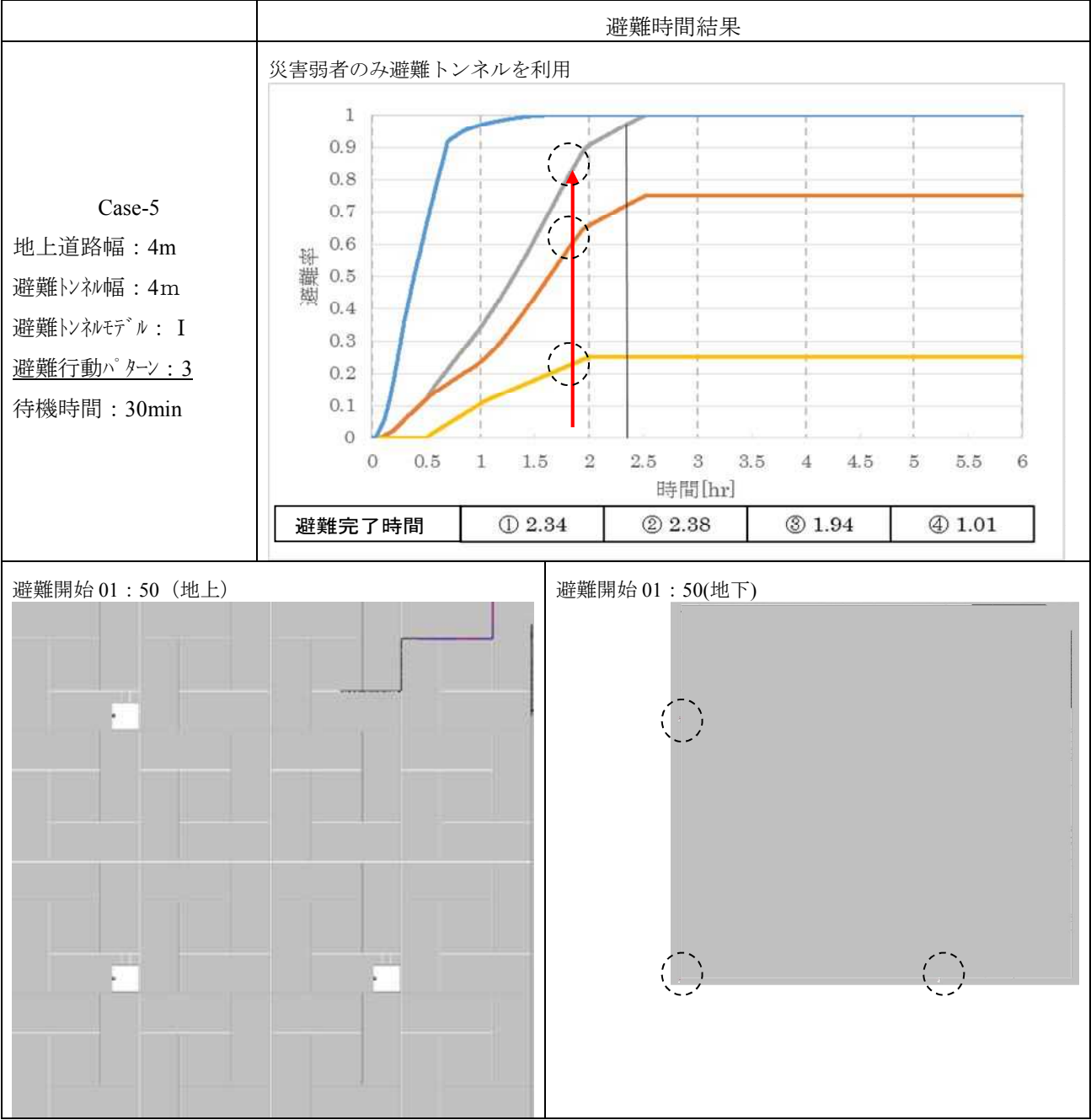


表 3-25 災害弱者のみが避難トンネルを利用する避難状況(2)



3.7.6 避難トンネル幅の影響

前節において災害弱者のみが避難トンネルを利用することの避難時間に対する効果が高いことから、災害弱者は避難トンネルを利用し健常者は地上を利用した避難とし、避難方法を分離したパターン3を用い、避難トンネル幅やトンネルモデルによる違いを整理する。

表 3-28は地下の避難トンネル幅を4mから2mに縮小したCase-7の結果である。Case-5の③安全区間（地下）の避難時間 1.94hr と避難時間は変化しないことから災害弱者（18,000人）が避難トンネルを利用する条件では、避難トンネル幅を縮小できる可能性がある。

表 3-26 単位時間当たりの避難者数(Case-7)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.69hr	1582 人/min (0.91)	0hr-1.94hr	544 人/min (0.88)
0.69hr-1.55hr	125 人/min (1.0)	1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)
全体平均	774 人/min	全体平均	468 人/min

() 内は避難完了率

表 3-27 単位時間当たりの避難者数（安全空間：地上，地下）(Case-7)

時間	安全空間：地上	時間	安全空間：地下
0hr-0.55hr	305 人/min (0.14)	0hr-2.04hr	147 人/min (0.25)
0.55hr-0.99hr	245 人/min (0.23)		
0.99hr-1.94hr	821 人/min (0.88)		
1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)		
全体平均	468 人/min	全体平均	147 人/min

() 内は避難完了率

表 3-28 避難トンネル幅の違いによる避難時間比較

	避難時間結果				
Case-5 地上道路幅：4m 避難トンネル幅：4m 避難トンネルモデル：I 避難行動パターン：3 待機時間：30min	避難トンネル幅 4m <p>避難完了時間</p> <table><tr><td>① 2.34</td><td>② 2.38</td><td>③ 1.94</td><td>④ 1.01</td></tr></table>	① 2.34	② 2.38	③ 1.94	④ 1.01
① 2.34	② 2.38	③ 1.94	④ 1.01		
Case-7 地上道路幅：4m 避難トンネル幅：2m 避難トンネルモデル：I 避難行動パターン：3 待機時間：30min	避難トンネル幅 2m <p>避難完了時間</p> <table><tr><td>① 2.34</td><td>② 2.38</td><td>③ 1.94</td><td>④ 1.01</td></tr></table>	① 2.34	② 2.38	③ 1.94	④ 1.01
① 2.34	② 2.38	③ 1.94	④ 1.01		

——①最終避難(合計) ——②安全区間(地上) ——③安全区間(地下) ——④一時避難

3.7.7 避難トンネルモデルの違いによる比較

表 3-31 は、災害弱者のみが避難トンネルを利用する避難パターン 3 で避難トンネルモデルⅠとⅡの比較を行った結果である。両ケースとも、災害弱者（0.5m/s）が避難トンネルを利用しその他の避難者は地上道路を利用とした避難に区分したことにより、Case-5, 6 の地下トンネルモデルⅠとⅡの両ケースにおいて、安全空間への避難完了時間は2.5hr 弱と Case-1 と比較して大幅に短縮する。また、避難トンネルモデルⅡでの Case-6 は災害弱者の歩行速度のみのため滞留がさらに減少し 1.5hr 程度で避難が完了する。

表 3-29 単位時間当たりの避難者数(Case-6)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.69hr	1582 人/min (0.91)	0hr-1.94hr	544 人/min (0.88)
0.69hr-1.55hr	125 人/min (1.0)	1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)
全体平均	774 人/min	全体平均	468 人/min

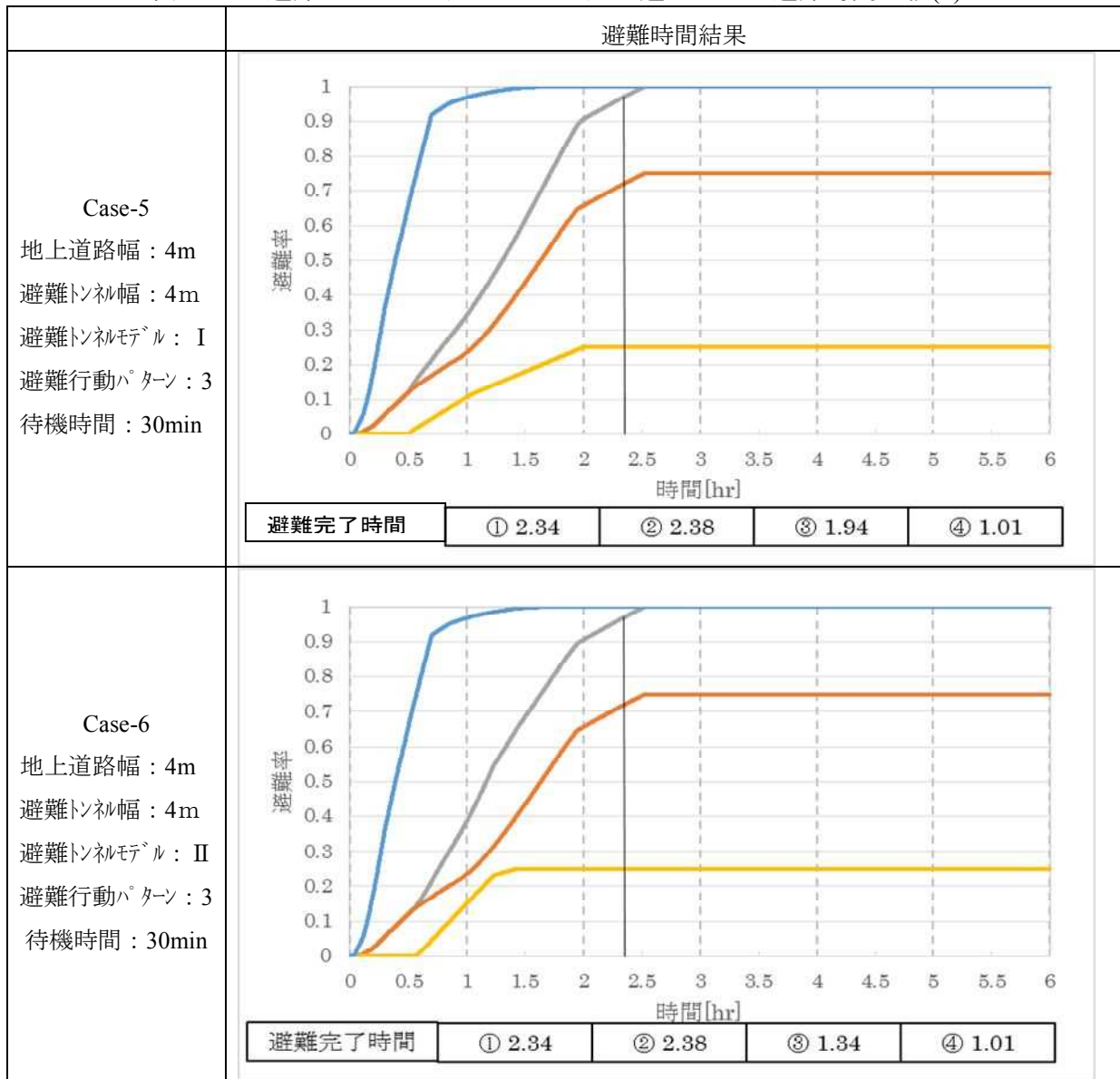
() 内は避難完了率

表 3-30 単位時間当たりの避難者数（安全空間：地上，地下）(Case-6)

時間	安全空間：地上	時間	安全空間：地下
0hr-0.55hr	305 人/min (0.14)	0hr-1.48hr	202 人/min (0.25)
0.55hr-0.99hr	245 人/min (0.23)		
0.99hr-1.94hr	821 人/min (0.88)		
1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)		
全体平均	468 人/min	全体平均	202 人/min

() 内は避難完了率

表 3-31 避難トンネル（地下モデル）の違いによる避難時間比較(1)



——①最終避難(合計) ——②安全区間(地上) ——③安全区間(地下) ——④一時避難

Case-5, 6 において災害弱者とその他の避難者を分離することで避難時間が短縮できたことから、更にトンネル幅を狭くし建設コストを低減するケース Case-7,8 を表 3-34 に示す。避難トンネルを利用する災害弱者は 18,000 人であり、避難トンネル幅を 2m に縮減しても避難完了時間への影響がほとんどない。このため、避難トンネルは災害弱者 18,000 人の早期避難の支援を主眼におけば 2m 幅の狭小トンネル構築でも効果が期待できる。

表 3-32 単位時間当たりの避難者数(Case-8)

時間	一次避難	時間	最終避難
0hr-0.69hr	1582 人/min (0.91)	0hr-1.94hr	544 人/min (0.88)
0.69hr-1.55hr	125 人/min (1.0)	1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)
全体平均	774 人/min	全体平均	468 人/min

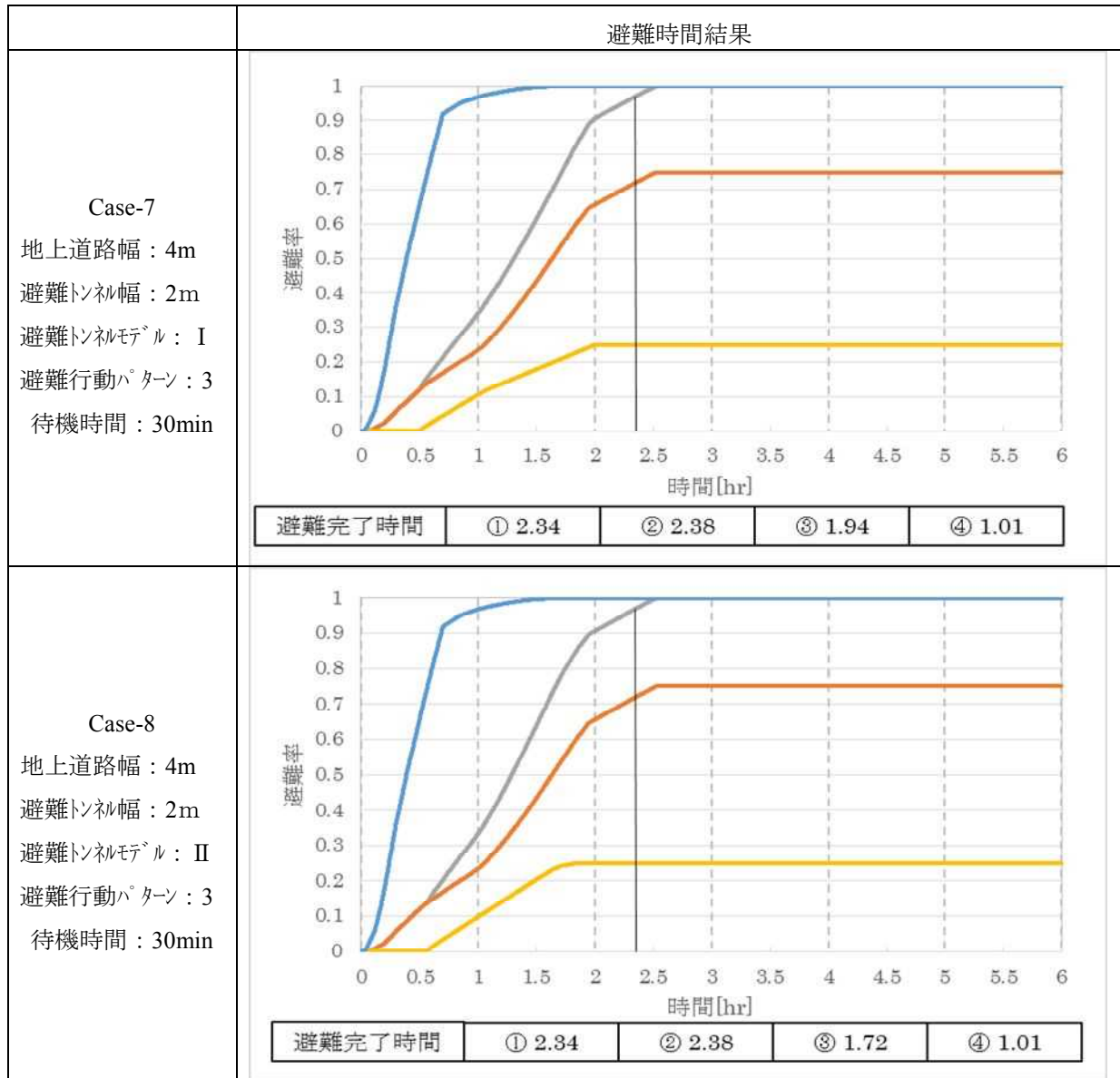
() 内は避難完了率

表 3-33 単位時間当たりの避難者数（安全空間：地上，地下）(Case-8)

時間	安全空間：地上	時間	安全空間：地下
0hr-0.55hr	305 人/min (0.14)	0hr-1.66hr	180 人/min (0.25)
0.55hr-0.99hr	245 人/min (0.23)		
0.99hr-1.94hr	821 人/min (0.88)		
1.94hr-2.56hr	232 人/min (1.0)		
全体平均	468 人/min	全体平均	180 人/min

() 内は避難完了率

表 3-34 避難トンネル（地下モデル）の違いによる避難時間比較（2）



—①最終避難(合計) —②安全区間(地上) —③安全区間(地下) —④一時避難

3.7.8 避難トンネルによる避難時間比較結果

避難トンネルを用いた避難時間を検討するため各種条件設定を加えた比較検討結果より避難時間について比較した Case-1~8 の結果を表 3-35 に示す。

地上道路を 8m に拡幅した Case-2 の避難時間 3.39hr を基準に Case-3 以降の避難トンネルを利用して避難する各ケースを比較した結果、Case-3 の安全空間とした地下の避難トンネルに全ての避難者を誘導することは避難トンネル内での滞留となり時間を要する結果となる。また、Case-4 のように避難トンネルのモデルを工夫することで地上避難と同程度に改善することも期待できる。

一方、Case5~8 に示すように災害弱者を対象とした避難トンネル計画とし、出来るだけ早く災害弱者を安全空間に誘導すること、及び健常者の地上避難の効率を上げることが最も避難時間短縮に期待できる。

表 3-35 避難トンネルによる避難時間結果

	① 最終避難 (② + ③ の 97%)	② 安全区間 (地上：広域避難地)	③ 安全区間 (地下：避難トンネル)	④ 一時避難
Case-1	3.88 hr	3.88 hr	—	1.01 hr
Case-2	3.39 hr	3.39 hr	—	0.87 hr
Case-3	5.93 hr	1.27 hr	5.99 hr	1.01 hr
Case-4	2.88 hr	1.27 hr	2.96 hr	1.01 hr
Case-5	2.34 hr	2.38 hr	1.94 hr	1.01 hr
Case-6	2.34 hr	2.38 hr	1.34 hr	1.01 hr
Case-7	2.34 hr	2.38 hr	1.94 hr	1.01 hr
Case-8	2.34 hr	2.38 hr	1.72 hr	1.01 hr

3.7.9 避難トンネルによる避難率向上の期待と課題

広域避難による避難時間を，地上避難計画と避難トンネルを利用した避難計画で比較し，避難トンネルによる避難率向上の期待と課題について以下に示す．

- ① 地上道路幅の整備に時間を要する地域では，災害弱者の利用を目的とした避難トンネルを構築することにより，地上避難計画の道路幅 8m に拡幅する対策の避難時間よりも避難時間の短縮が期待できる．
- ② 災害弱者 18,000 人を対象とした場合の避難トンネル道路幅は 2m 程度確保すると，避難トンネルの効果として道路幅を 8m に拡幅し地上のみを全ての避難者が避難した場合の避難時間に対して約 1.0hr の短縮が期待できる．
- ③ 避難者が集中すると避難トンネル内で滞留が発生し，地上のみを利用した避難行動より効率さが下がるため，地上避難と地下避難へのオペレーションや情報提供等の課題が残る．

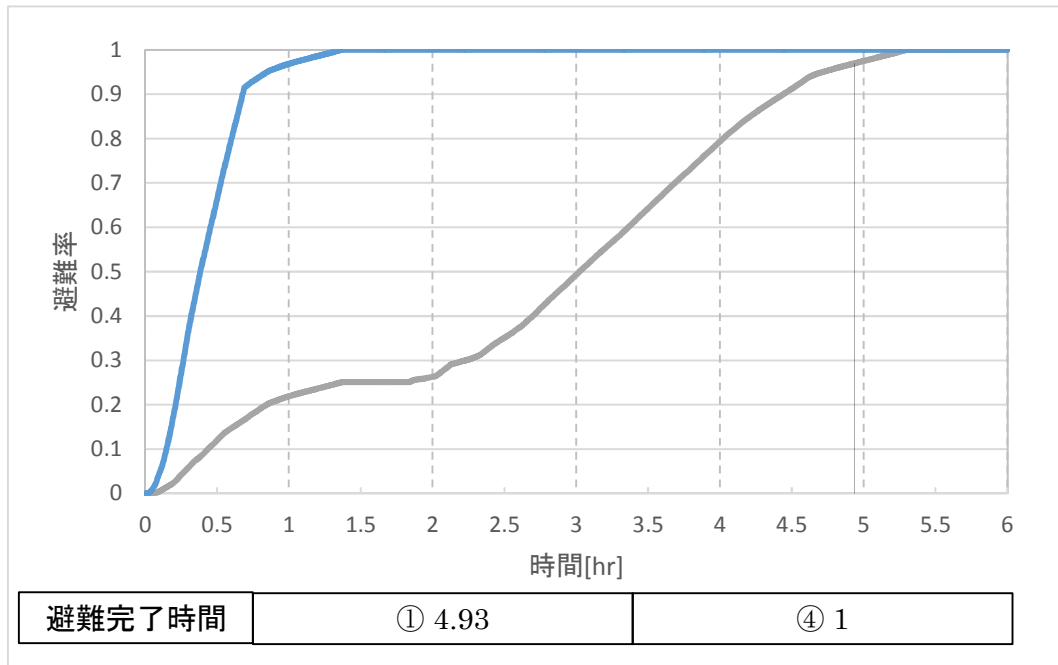
3.7.10 1 次避難地の待機時間影響検討

本検討における避難シナリオは、一次避難地を経由して広域避難地に至る事とし、避難開始後 0.5hr で広域避難地への移動を開始するシナリオとしている。このため、避難率の見方が複雑となることから一次避難地での待機時間を 1.5hr に延長し、全ての避難者が一次避難地で待機しているシナリオとした結果を参考に示す。

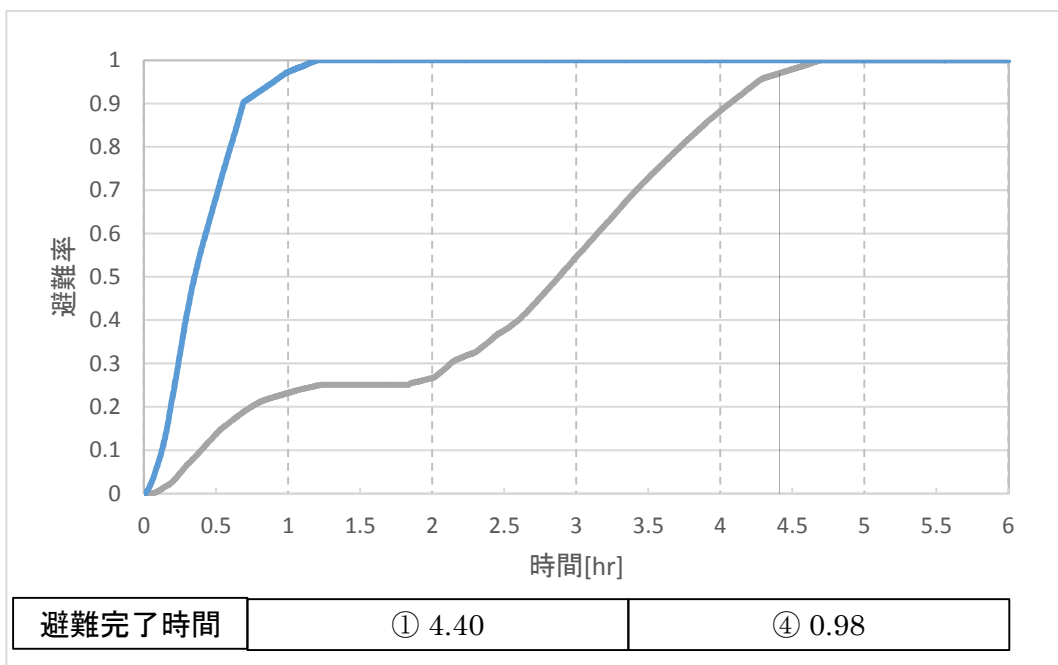
一次避難地までの移動時間は、表 3-36 の Case-1, 2 で示すように、避難者は 1.5hr 以内に到達しており、全ての避難者は一次避難地で待機した後に広域避難地への移動を開始している。このため、避難者は待機時間分だけ避難完了時間が延びる傾向が把握できることと、避難時間が把握が容易となる。

表 3-36 避難シミュレーション解析結果一覧（待機時間 1.5hr）

Case-1：道路幅4m，避難パターン1



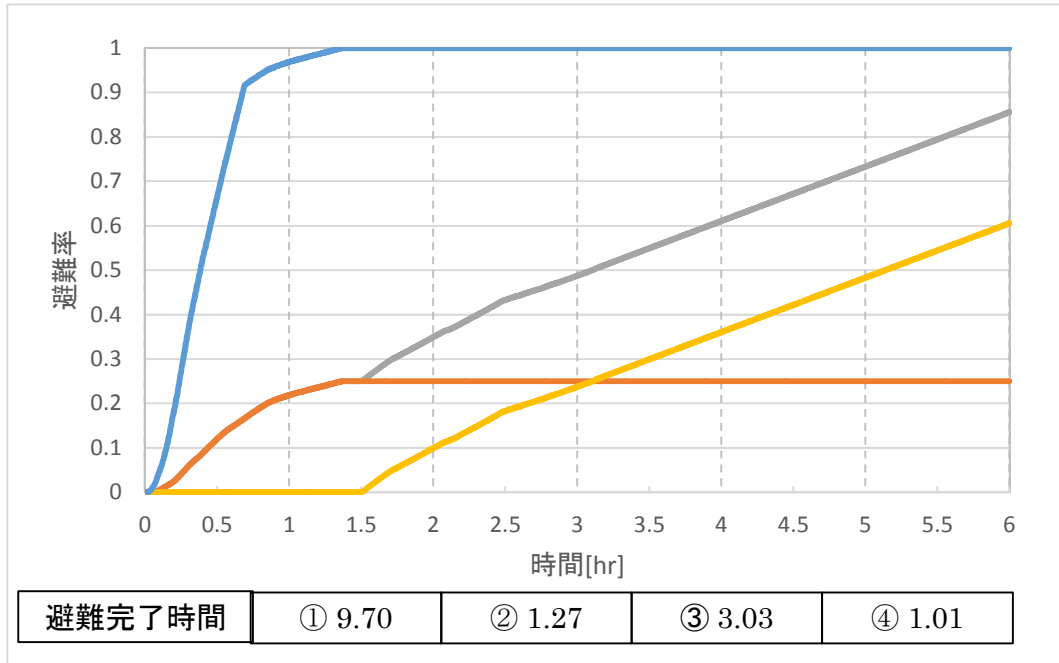
Case-2：道路幅8m，避難パターン2



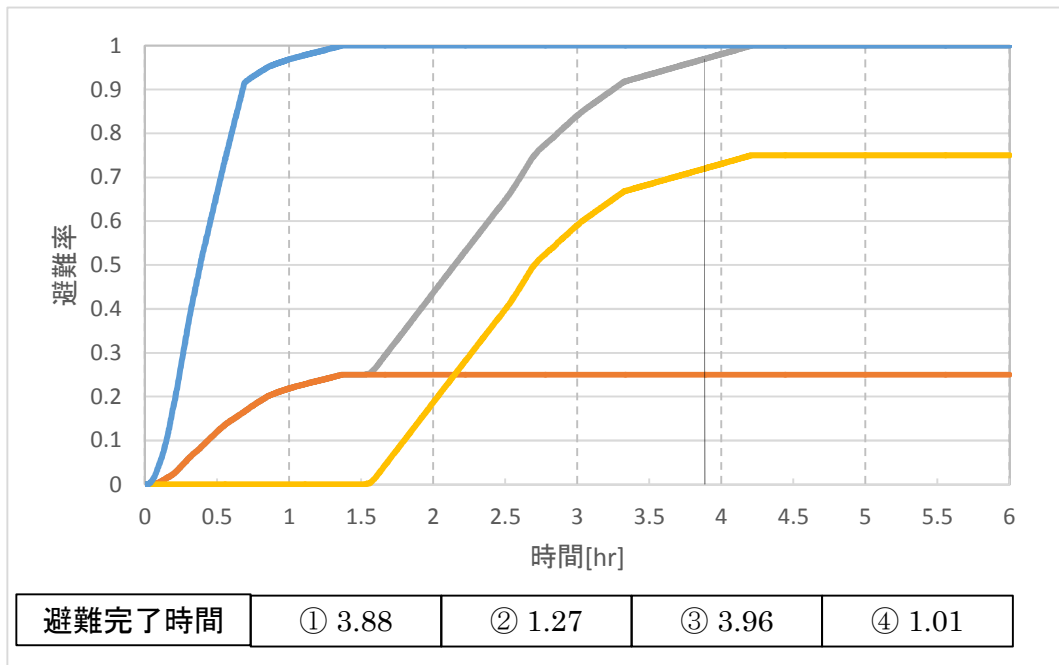
①最終避難(合計) ②安全区間(地上) ③安全区間(地下) ④一時避難

表 3-37 避難シミュレーション解析結果一覧（待機時間 1.5hr）

Case-3：道路幅4m，避難パターン2，地下モデルⅠ



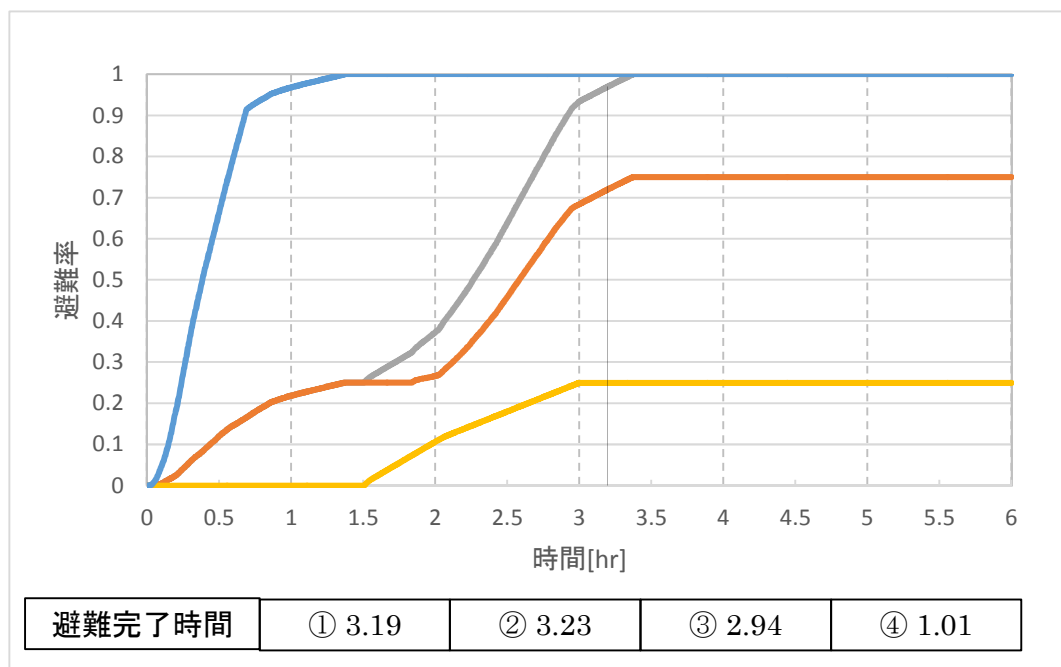
Case-4：道路幅4m，避難パターン2，地下モデルⅡ



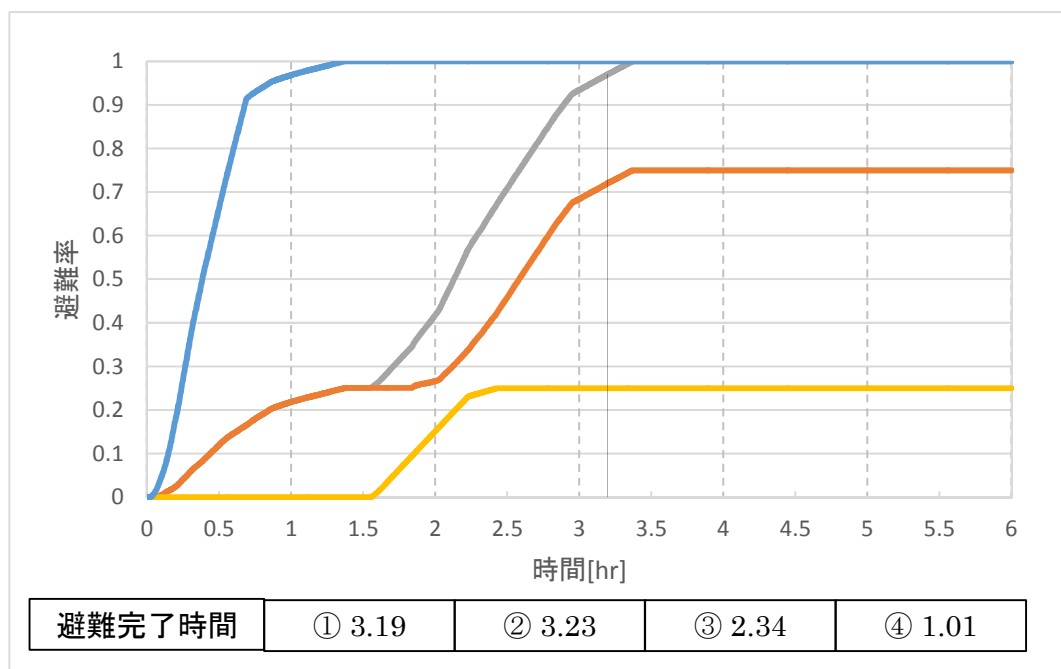
—①最終避難(合計) —②安全区間(地上) —③安全区間(地下) —④一時避難

表 3-38 避難シミュレーション解析結果一覧（待機時間 1.5hr）

Case-5：道路幅4m，避難パターン3，地下モデルⅠ



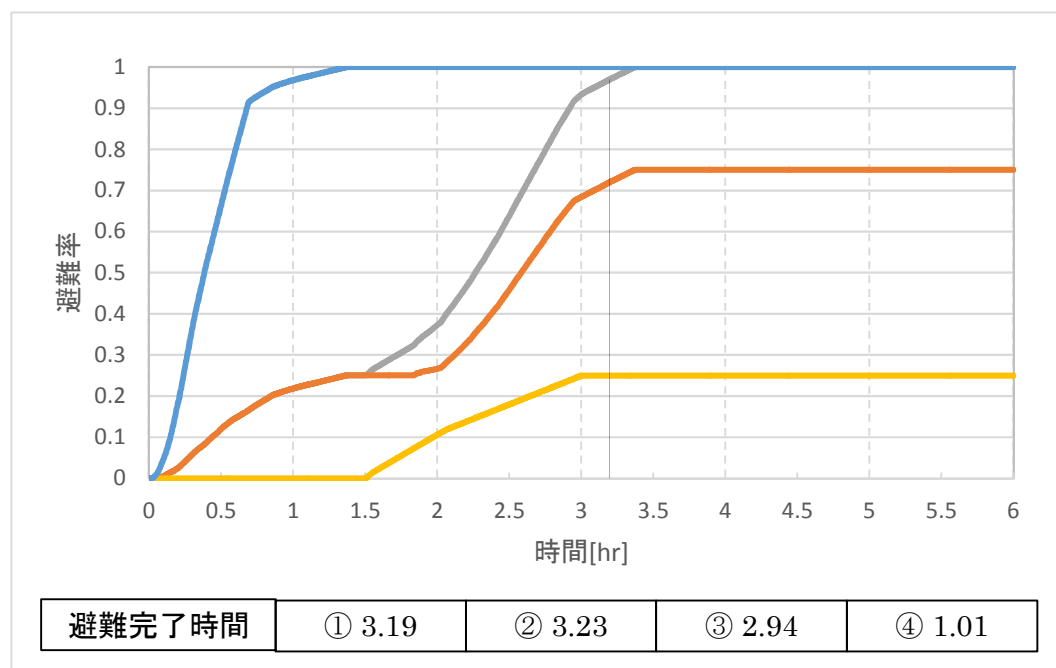
Case-6：道路幅4m，避難パターン3，地下モデルⅡ



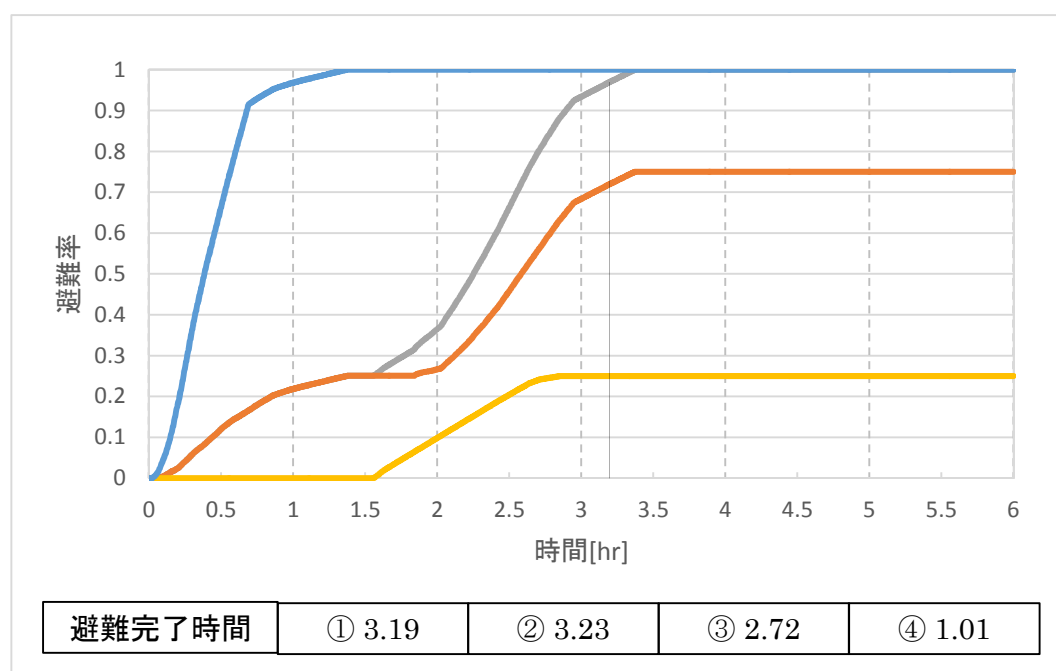
—①最終避難(合計) —②安全区間(地上) —③安全区間(地下) —④一時避難

表 3-39 避難シミュレーション解析結果一覧（待機時間 1.5hr）

Case-7：道路幅4，2m，避難パターン3，地下モデルⅠ



Case-8：道路幅4，2m，避難パターン3，地下モデルⅡ



①最終避難(合計) ②安全区間(地上) ③安全区間(地下) ④一時避難

3.8 避難トンネル構成概要と概算コスト試算

3.8.1 避難トンネルに求める機能とシステム概要

広域火災に対して避難者の避難完了を促進すること，地上火災による経路分断時の消火救急活動を行うために避難トンネルが有効であると考えるが，避難トンネルを具体化の上では，必要となる機能と概算コストを把握し実現の可能性について検討する必要がある．ここでは，居住空間の基準²⁴⁾から人間が滞在するために必要な換気量他を設定するとともに，既往構造物の建設コスト²⁵⁾を参考として，モデルトンネルによるコスト試算を検討する．

(1) 避難トンネルに求める機能

土木構造物としては，避難トンネル本体と共に，地上へのアクセス経路，受配電設備・換気設備等を格納する換気塔及び管理棟を整備する必要がある．大地震後の地下空間避難の大きな課題としての耐震性を確保してある必要があり，耐震レベルではレベル2と同等程度を想定する．

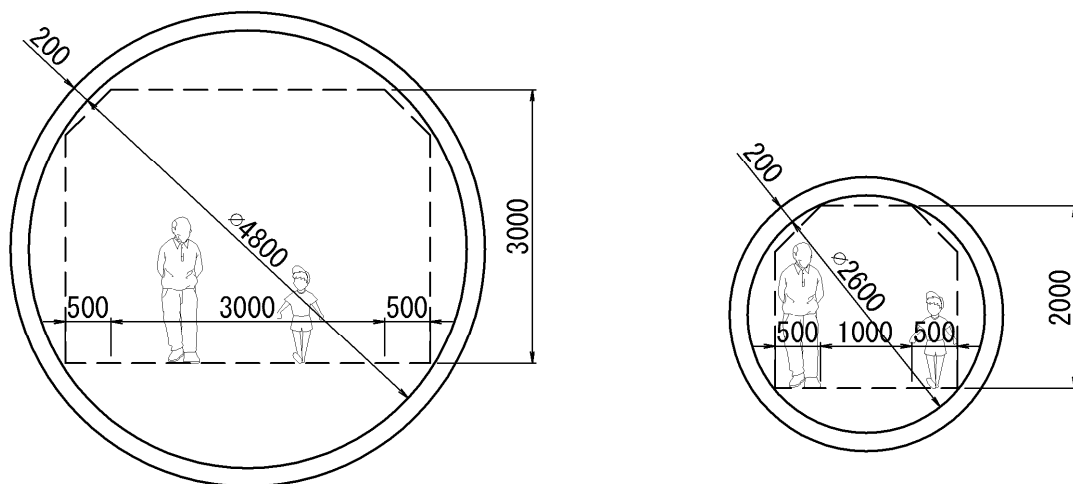


図 3-6 避難トンネル概念図（シールドトンネル，道路幅 4.0m・2.0m）

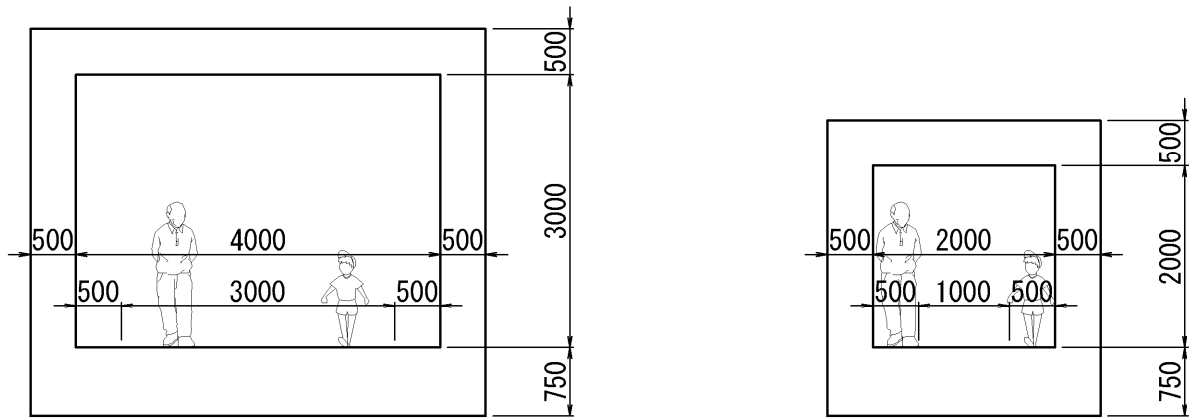


図 3-7 避難トンネル概念図（矩形トンネル，道路幅 4.0m・2.0m）

(2) 付帯設備に求める機能

避難トンネルに付帯する設備は，避難者が移動または長時間滞在することを想定し，建物設備の基準²⁴⁾に準拠した機能が必要となる．

(a) トンネル換気設備

トンネル換気設備は，建物設備の基準²⁴⁾に基づきトンネル利用時の CO₂ 濃度希釈を目的に，対象人数 18,000 人に対して 54,000m³/h 必要とした．また，トンネル内温度調整を換気で実施するために，125,000m³/h の能力が必要となるが空調設備を備える場合には省略が可能である．新鮮空気取り込み口や受電・自家発電設備は安全空間である広域避難地に設ける．

以下に建物基準²⁴⁾に基づいた換気量の算定例を示す．CO₂ 濃度希釈を目的とした必要な有効換気量 Q は次式より算定する．

$$Q = \frac{M}{K - K_0} A \cdot n$$

M：1 人当たり CO₂ 発生量(m³/(h・人))(=0.02)

K：定常状態における室内 CO₂ 許容濃度 (m³/m³)
(一般に 0.001)

K₀：外気中の CO₂ 濃度(m³/m³)
(一般に 0.00035)

(b) 給排水衛生設備

給排水設備は、短期的な避難行動には必ずしも必要でないが、長時間の滞在もしくは広域避難場所を避難トンネルが兼ねることを想定し、720m³/日程度の貯水量の確保が必要とした。また、衛生設備として、簡易トイレを有するものとする。建物基準²⁴⁾より1日使用水量 q_d (L/d) は次式より算定する。

$$q_d = N \cdot q$$

N : 使用者の人員 (人)

q : 1人1日平均使用水量(L/(d・人))(=40L/(d・人))

(c) 照明設備

照明設備は、避難路としての照度を確保するために、歩道照明²⁶⁾と同レベルの5Lx以上の照度を確保するものとした。なお、不安感の低減のため建物基準²⁴⁾と同程度の照度に順ずる場合には、75Lx (車庫) ~ 300Lx (待合室) 程度の照度を参考とする。

(d) 非常用設備及び遠方監視設備

非常用設備は、避難トンネル内で二次火災が発生した際の消火器消火栓を具備するものとし、かつ、避難者への情報提供設備として携帯アンテナや情報板、及び、避難行動をモニタリングするカメラや誘導装置としての拡声放送設備を設置するものとした。なお、地上との接続部である避難口については、地上火災の熱や煙の影響を受けないように防火扉を設置するか、2種換気により避難トンネル内への熱・煙の侵入を抑制する対策が必要である。

(e) 搬送設備

搬送設備は、避難トンネルに避難する際や避難トンネルを経由して安全地域に移動する際に、災害弱者対応として必要となるエレベータ等を設置するものとする。

(3) 避難トンネルシステム概要

避難トンネルとしての機能を構築するためには、表 3-40 に示すように土木構造物・付帯施設の建設が必要となる。

表 3-40 避難地下トンネルシステム構成

対象施設	施設概要
土木構造物	トンネル本体
	立坑（避難口、換気）
付帯施設	換気設備，給排水設備
	照明設備
	受電，自家発電設備
	遠方監視設備，非常用設備，搬送設備

避難トンネルは、図 3-98，図 3-9 に示すように広域火災エリアから安全空間である避難トンネルを経由して、広域火災エリアを抜けるためのトンネルである。このため、①避難トンネル本体の他に、②避難口となる立坑③避難トンネルに換気を行う換気立坑から構成される。

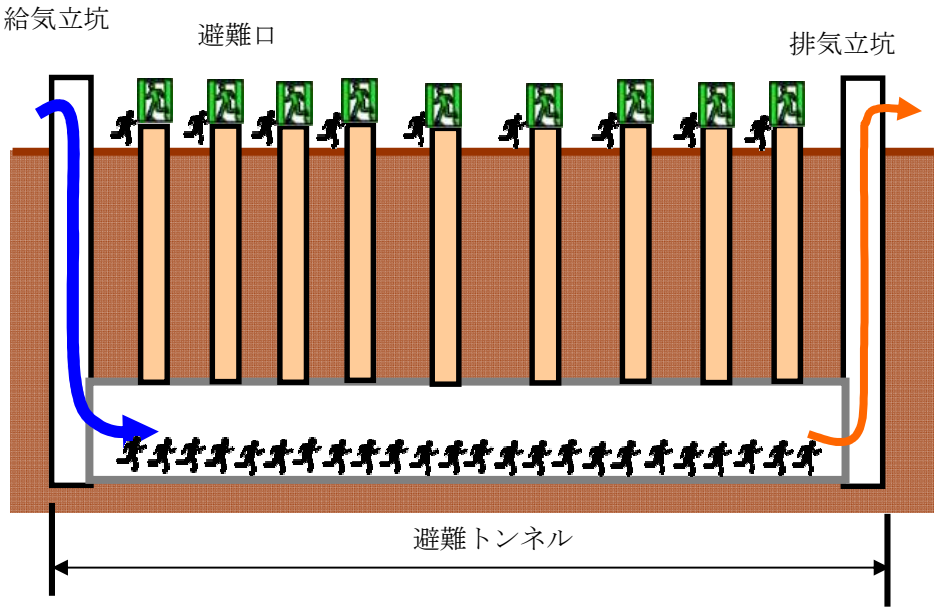


図 3-8 避難トンネルシステム概念図

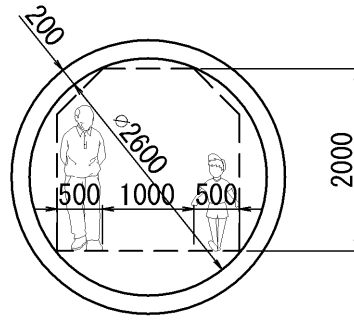


図 3-9 避難トンネル概念図

3.8.2 避難トンネル構築概算コスト

(1) 構築コスト単価設定

構築コストは、既往構造物の建設コスト調査²⁵⁾を参考として、表 3-41 に示すように単価設定を行う。立坑は深さによりコストが変わることから、既存道路下を利用して避難トンネルを構築するトンネルモデルⅠは浅深度立坑を用い、既存住宅したに避難トンネルを構築するトンネルモデルⅡは大深度立坑を用いるものとする。

表 3-41 避難トンネル構築単価（直接工事費）

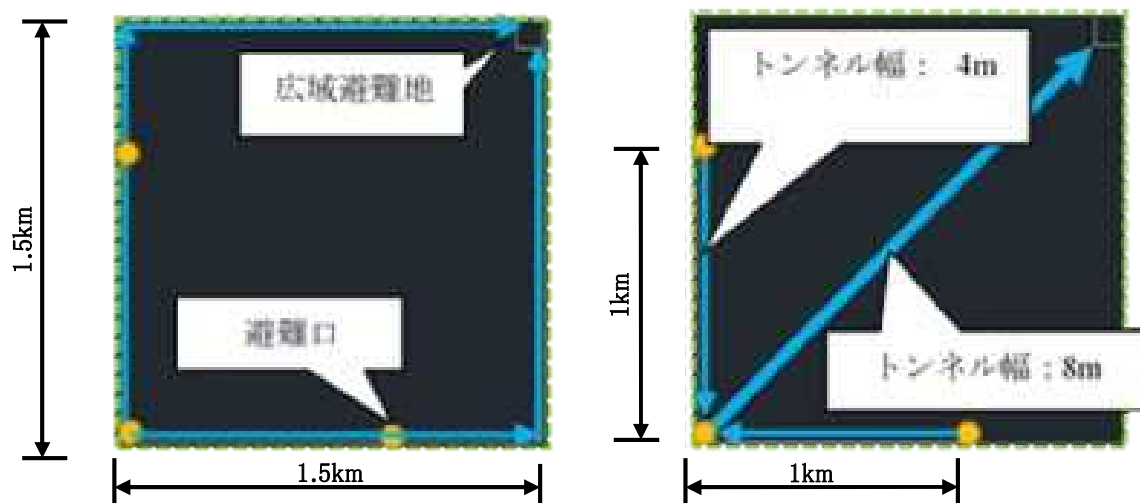
工種		単価	
土木構造	トンネル	1,260 百万/km（内径 φ2800mm） 3,880 百万/km（内径 φ800mm）	
	立坑	360 百万/箇所 （浅深度立坑）	1, 600 百万/箇所 （大深度立坑）
付帯設備		745 百万/km	

(2) 避難トンネル構築所要コスト試算

避難トンネルは、大火災に対応することからトンネル延長が長くなる。本検討においては、広域避難のシミュレーションを実施した 4km² のエリア外に到達できることを想定して図 3-10 の避難トンネルにてコストを試算した結果を表 3-42 に示す。

表 3-42 避難トンネル所要コスト（直接工事費）

工種		モデルⅠ	モデルⅡ
トンネル延長		6.0km	2.0km (φ2800mm) 2.1km (φ8000mm)
土木構造	トンネル	7,560 百万	10,668 百万
	立坑	1,440 百万	6,400 百万
付帯施設		4,470 百万	4,321 百万
合計		13,470 百万/4km ²	21,389 百万/4km ²



【避難トンネル モデルⅠ】

【避難トンネル モデルⅡ】

図 3-10 避難トンネルモデル図

避難トンネルを新規に建設する際は、表 3-42 に示すように約 135～215 億円程度の直接工事費用が必要となる。これは、既往の地下構造物¹⁴⁾と比較すると、道路トンネルの 3%・鉄道トンネルの 10%・地下河川の 30%となり、トンネル径を小さく設定することで建設事業を抑制することが期待できる。また、道路幅を拡幅して避難路を設ける地上面的避難計画と対比するため、墨田区・江東区の平均地価（0.35 百万/m²）¹⁷⁾を基に対象とした空間モデルの全道路幅を 4m 拡幅し 8m 道路とした場合は、61,600 百万/4km²程度の用地費が必要となる。直接工事費と地価は直接対比することは難しいが、対象用地に居住する住民の移転を行う時間と費用を考慮すると同等程度以下の効果があると考ええる。このことから、地価が高く用地移転に時間を要する地域では、避難トンネル構築による減災が選択肢となる。

3.8.3 既存の都市地下インフラストック活用の留意点

避難トンネルは、広域避難場所等の地上面的整備に比べて、所要費用・工期ともに実現性が高い場合があると考えるが、平常時は未利用設備となる避難トンネルに巨額の建設予算を確保することは解決すべき課題であり、表-3-43 に示すような種類の既存の都市地下インフラを避難トンネルとして利用することは一つの方法と考える。特に、大地震時における都市火災発生と水害の同時発災は考えにくい事象であることから、洪水対策用の地下河川は、インフラ機能を重複せずに利用可能と考える。また、鉄道・道路トンネルは地下空間が大きく、駅舎や出入口を有し、地震時の車両運行を停止することで避難トンネルや広域避難地の代替として活用が期待できる。また、東京・大阪・名古屋等の都市圏は、新規地下鉄建設や地下鉄相互の乗入れに伴う改修計画、及び、道路の環状路線や放射路線の整備推進や、既存道路の老朽化とともに地下トンネル化計画や構想も想定されるため、これら事業に併せて多面的な目的を持って整備することで、避難トンネル実現寄与に期待できる。

今後計画される都市部大深度地下のインフラ計画や既存路線改修計画と組み合わせることで実現性は更に高くなり、計画段階で行政や建設事業者との連携が重要となる。ただし、避難トンネル設置については、避難オペレーションの構築や地元住民に対する合意形成について市街地再整備と同様の課題が残されている。

表 3-43 都市地下インフラの避難トンネル利用留意点

対象施設	避難トンネル利用時の留意点
地下鉄道	<ul style="list-style-type: none"> ・線路と架線に高圧電線が敷設され歩行時には電力供給の停止の運用が必要 ・出入口からの煙進入防止が必要 <p>例) 都営, 営団地下鉄 約 250km</p>
地下道路	<ul style="list-style-type: none"> ・一定区間に換気所があり, 避難場所の利用可能 ・地震時の地下トンネルでの車両火災対策が必要 ・出入口からの煙進入防止が必要 <p>例) 首都高速道路 約 30km</p>
地下街路	<ul style="list-style-type: none"> ・出入口からの煙進入防止が必要 ・地震時に地上からの地下避難と地上への避難が錯綜し, 避難オペレーションの構築が必要. <p>例) 八重洲地下街 約 4km</p>
地下放水路	<ul style="list-style-type: none"> ・避難口や換気・照明等の避難トンネルとしての設備追加が必要 ・水害等による浸水と広域災害での使い分けが重要 <p>例) 首都圏外郭放水路 約 6km</p>
地下共同溝	<ul style="list-style-type: none"> ・共同溝内の高圧電源等と避難者の分離が必要 ・出入口からの煙進入防止が必要 <p>例) 東京都区内 約 120km</p>

4. 結論

都市部の大地震時における広域災害時の逃げ遅れる人に対する課題解決の一手法として、避難トンネルによる避難口の設置システムを新たに提案した。広域避難における避難完了時間に着目して、地上道路のみを用いた避難と避難トンネルを併用した避難を比較し、避難トンネルの有効性について検討した結果、次の結論を得た。

- ・避難トンネルは、道路幅を拡幅する地上のみを用いた避難と同等程度以上の避難効率が期待できる。
- ・避難トンネルは、広域火災に対して安全空間となる地下に短時間避難が可能なことから、将来対応が重要となる災害弱者に対して効果がある。
- ・避難トンネルが最も効果を発揮するのは、災害弱者を優先した避難トンネル利用であり、地上の避難及び避難トンネルの避難共に避難効率を上げることとなり、最も効果的である
- ・一次避難地に避難口を設置すること、道路下もしくは大深度地下に避難トンネルを設けることで、用地買収の観点から建設時間短縮を期待できる。
- ・都市部の地価が高い地域においては、地上面的整備と同等以下のコストでの整備が期待できる。

本研究は、避難トンネル利用による災害弱者対策の基本的特性について検討を行ったが、災害弱者を避難誘導する避難オペレーションや、火災の拡大状況と練成したシミュレーションによる効果検証・避難者の経路選択モデル等の検討すべき課題も多く、更なる深度化により実現性と有効性を向上することが必要と考える。

5. 参考文献

- 1) 内閣府：平成 23 年度版防災白書，p.12， p.101， p.100
- 2) 中央防災会議 首都直下地震対策ワーキンググループ：首都直下地震の被害想定と対策について
(最終報告) 本文， p.8， p.13， p.30， 2013
- 3) 日本火災学会：火災便覧 資料編火災史年表等 pp.1535-1547， 1997
- 4) 国土交通省：防災街区整備地区計画作成技術指針， 2007
- 5) 国土交通省：第 8 版 都市計画運用指針， 国土交通省， pp.64-66， 2015.1
<http://www.mlit.go.jp/common/001143754.pdf>
- 6) 東京都防災会議：東京都地域防災計画震災編,東京都， pp.437-468,2014
- 7) 藤岡正樹， 石橋健一， 梶英樹， 塚越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価，
日本建築学会計画系論文集 第 562 号， pp231-236， 2002
- 8) 峯岸良和， 竹市尚弘， 吉田克之， 佐野友紀， 林田和人， 木村謙， 渡辺仁史：マルチエージェント
モデルによる大規模ホールにおける避難性状の予測—歩行者シミュレーションシステム SimTread
の実務的利用可能性の検証， 日本建築学会技術報告集 第 15 巻 第 29 号， pp.227-232， 2009
- 9) 峯岸良和， 竹市尚弘， 吉田克之， 佐野友紀， 林田和人， 木村謙， 渡辺仁史：マルチエージェント
モデルにおける歩行者密度と歩行速度及び流動係数の関係の考察—歩行者シミュレーションシス
テム SimTread の基本性能 その 5—， 日本建築学会大会学術講演概集， pp.597-598， 2008.9
- 10) 城明秀， 峯岸良和， 竹市尚弘， 吉田克之， 木村謙， 佐野友紀：マルチエージェントモデルと群集
実験との比較， 日本建築学会大会学術講演概集， pp.20-206， 2011.8
- 11) 吉田克之， 峯岸良和， 城明秀， 武市尚弘， 木村謙， 佐野友紀：避難歩行流の質の定量的評価
方法に関する試案—マルチエージェント歩行者シミュレーションシステム SimTread の適用
を通じて—， 日本建築学会大会学術講演概集， pp.207-208， 2011.8

- 12) 峯岸良和, 吉田克之, 竹市尚弘, 佐野友紀, 林田和人, 木村謙, 渡辺仁史: 歩行者シミュレーションシステム SimTread の基本性能—開口の流出先における歩行性状を考慮した流動係数の考察—, 日本建築学会大会学術講演概集, pp.961-962, 2007.8
- 13) 沖拓弥, 大沸俊泰: 大地震時の地域住民による救助活動と逃げ遅れについて, 日本建築学会関東支部研究報告集Ⅱ, pp.425-428, 2015.3
- 14) 栗田陽介, 川勝知英子, 山田昇吾, 柴原寛子, 高柳英明: 災害時における危険回避行動を考慮した広域避難シミュレーション—その1 危険回避行動モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.647-648, 2014.9
- 15) 川勝知英子, 栗田陽介, 山田昇吾, 柴原寛子, 高柳英明: 災害時における危険回避行動を考慮した広域避難シミュレーション—その2 危険回避行動モデルを用いた広域避難シミュレーションの試行—, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.649-650, 2014.9
- 16) 岩見達也, 竹谷修一: マルチエージェント手法を用いた広域火災時の避難シミュレーションモデルの構築, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.7-8, 2012.9
- 17) 廣井悠: 大都市避難シミュレーションの構築とその応用, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.241-242, 2015.9
- 18) 大沸俊泰, 沖拓弥: 避難困難性からみた木造住宅密集地域整備事業の評価, 日本建築学会大会学術講演概集, pp.147-148, 2013.8
- 19) 総務省統計局: 日本の統計, 2~1, 人口の推移と将来人口, 2011
- 20) 日本火災学会: 火災便覧 既存の広域避難モデルの特徴 p.557, 1997
- 21) 城明秀, 木村謙, 佐野友紀, 竹市尚広, 峯岸良和: 群集歩行マルチエージェントモデルの比較検証, 2016 年度人工知能学会全国大会, pp.1-3, 2016
- 22) 土木学会: トンネル標準示方書 シールド工法・同解説, p.49, 2006
- 23) 特定地区防災施設の配置ピッチ, 配置密度について:

http://www.mlit.go.jp/crd/city/plan/.../bousaigaiku_sankou.pdf

- 24) (一社)公共建築協会：建築設備設計基準（平成 21 年版），pp.455-456，2014
- 25) 村山秀幸，松島良和，大宮正浩，浅野光行：地下施設のコスト分析と評価に関する調査研究，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 8 巻，p.104，p.106，p.107，2003
- 26) (社)日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説，p89，2007
- 27) 平成 26 年地価公示価格（東京分）：
<http://www.zaimu.metro.tokyo.jp/kijyunti/26kouji/index.html>
- 28) 内閣府：平成 3 年 防災白書，p123，1991

謝辞

本研究を進めるにあたり、丁寧かつ様々な視点からご指導いただきました金沢大学大学院自然科学研究科川端信義教授に心より御礼申し上げます。

川端信義教授を初め様々な方々のご支援を頂いたことにより、本研究を論文としてとりまとめることが出来ました。

研究の分野に足を踏み入れたのは、2008年（平成20年）に道路トンネル火災と避難安全性を体系的に調査することについて川端信義教授に相談したことが最初となりました。この相談を端緒として川端信義教授の下、避難行動に関して海外調査や道路トンネル以外の避難について知見を深めることが出来、本研究テーマに辿り着き研究することができたのは大変に恵まれていたと感謝しています。

本研究にあたり、金沢大学理工研究域の長谷川雅人助教、清家美帆博士には様々な面で一方ならぬご支援をいただき誠にありがとうございました。また、中日本ハイウェイ・エンジニアリング株式会社施設技術部防災担当部長の横田昌弘博士におきましては、社会人博士課程の先輩として研究と業務の両立の難しさを含め様々な助言をいただけたことに感謝しております。さらに、研究を進めるにあたり多くの助言をいただいた日本消防検定協会の栗岡均博士、首都高速道路株式会社の三瓶靖弘博士、金沢大学流体科学研究室の皆様、トンネル火災研究会の皆様に深く感謝致します。

社会人の学生として2011年（平成24年）に送り出していただいた、パシフィックコンサルタンツ株式会社交通基盤事業本部本部長徳川和彦様（現常務取締役 技術研究センター長）をはじめ施設エンジニアリング部長藤田容久様には大変お世話になりました。また、研究成果を出すの時間を要し社会人博士課程を続けるあたりご支援を賜りました取締役 首都圏本社長藤原憲男様、本社品質安全管理部長増野正男様、施設エンジニアリング部長藤岡弘明様、パシフィックコンサルタンツ株式会社の皆様には深く感謝致します。

また、本学位論文の審査にあたっていただきました、理工学域サステナブルエネルギー研究センター長教授の三木理様、理工学域機械工学系の木綿隆弘様、理工学域機械工学系の児玉昭雄様、理工学域機械工学系の多田幸生様に感謝致します。

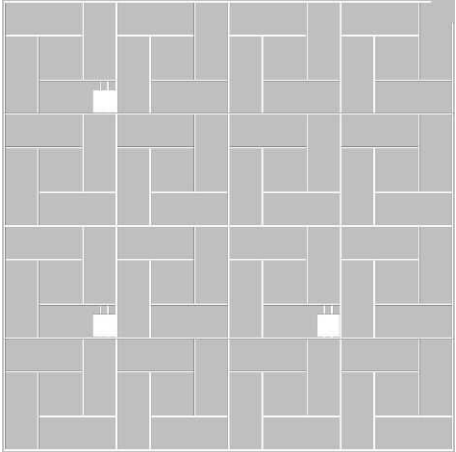
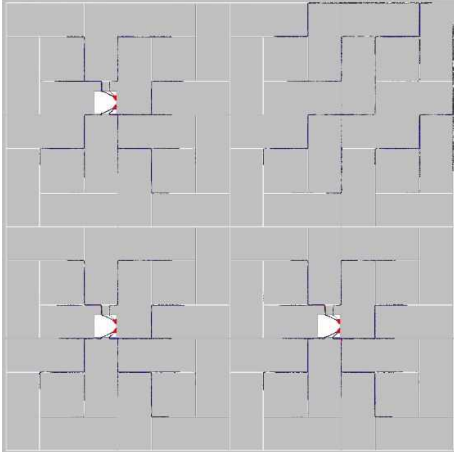
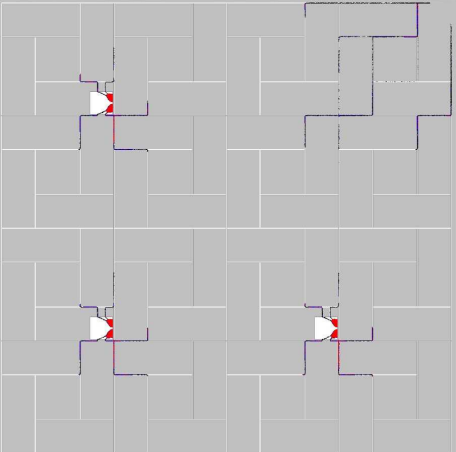
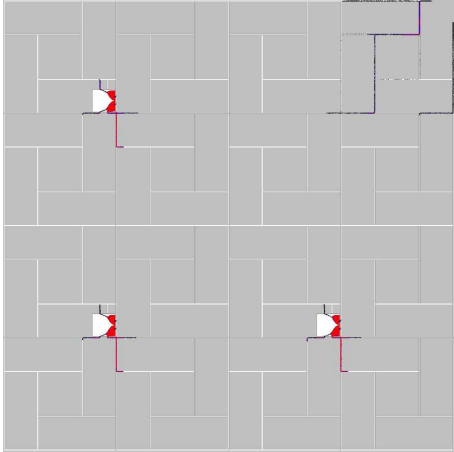
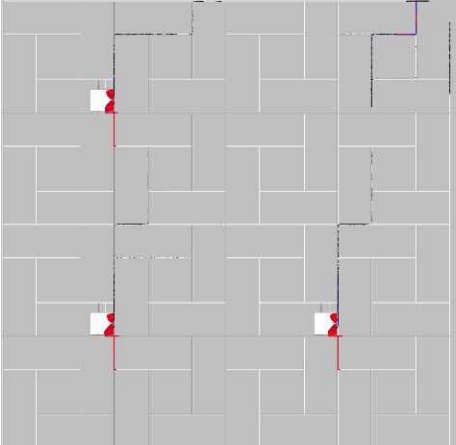
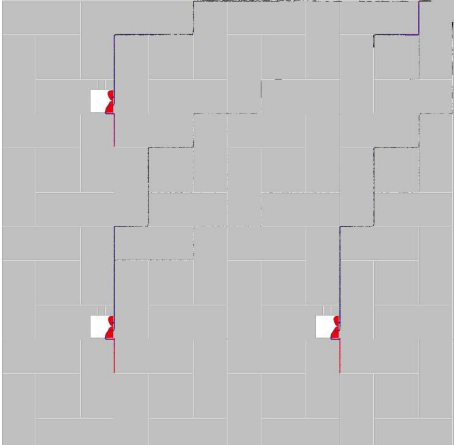
最後に、長期間に渡り応援してくれた家族に謝意を表します。

6. 付録

6.1 解析結果一覧

各ケースにおける避難時間に対応する避難者行動結果を次に示す.

表 6-1 避難シミュレーション Case-1 における時間毎の避難状況(0:00~0:50)

Case-1 0:00	Case-1 0:10
	
Case-1 0:20	Case-1 0:30
	
Case-1 0:40	Case-1 0:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-2 避難シミュレーション Case-1 における時間毎の避難状況(1:00~1:50)

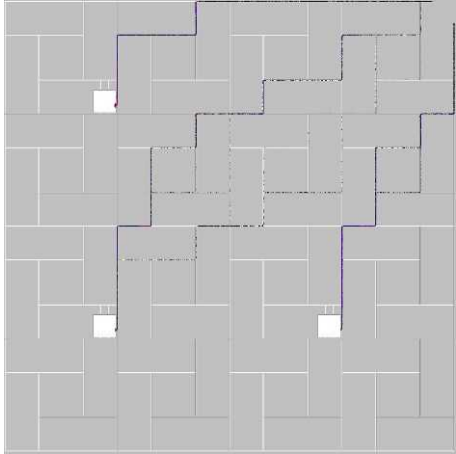
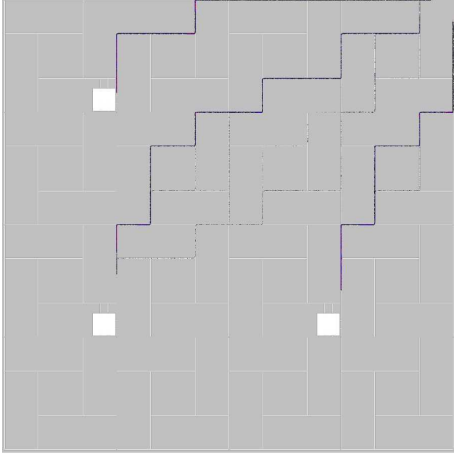
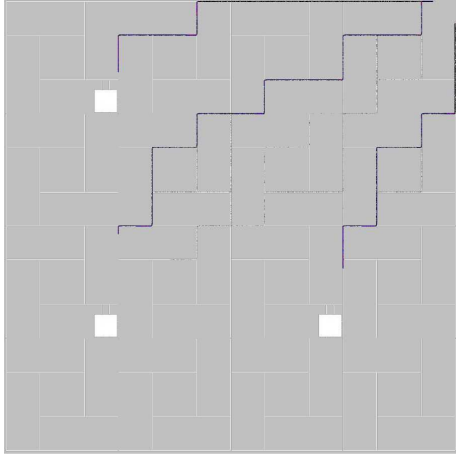
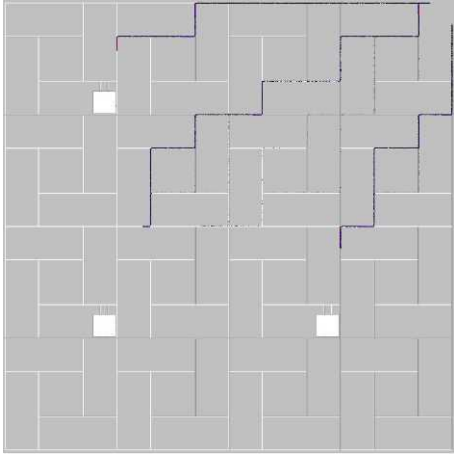
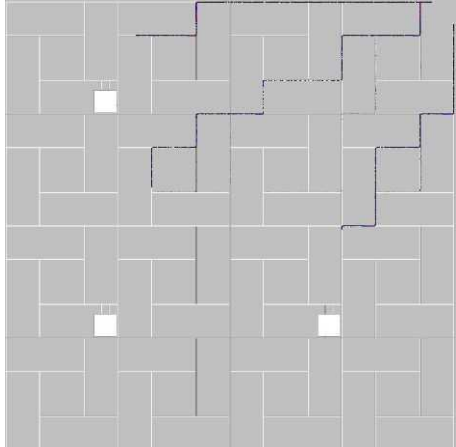
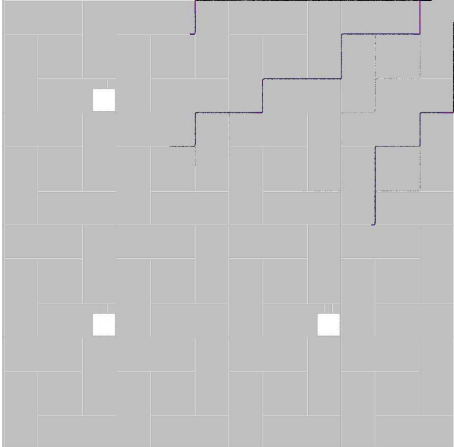
Case-1 1:00	Case-1 1:10
Case-1 1:20	Case-1 1:30
Case-1 1:40	Case-1 1:50

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-3 避難シミュレーション Case-1 における時間毎の避難状況(2:00~2:50)

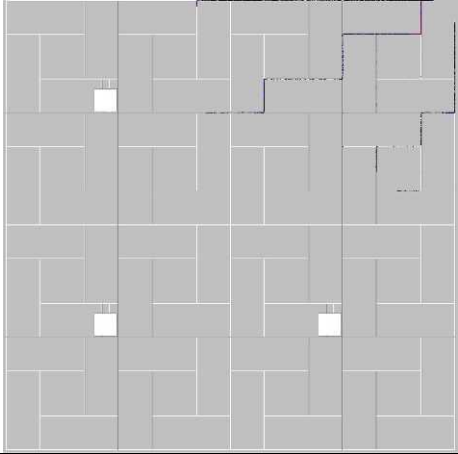
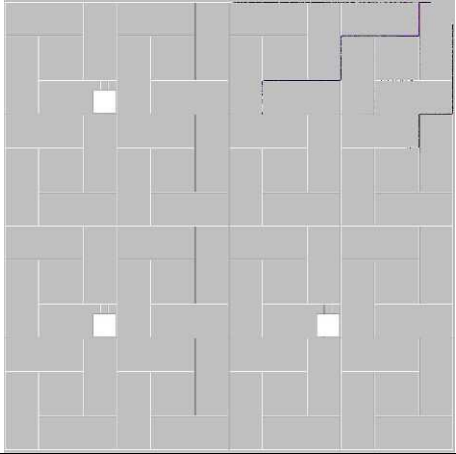
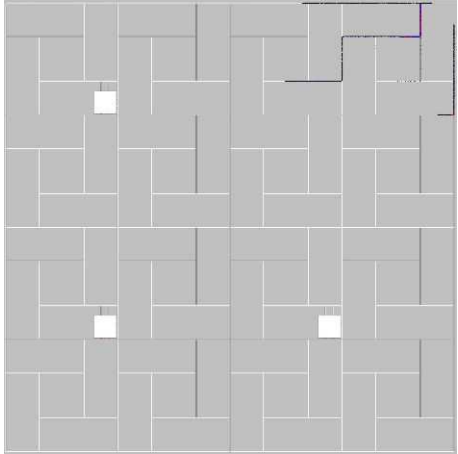
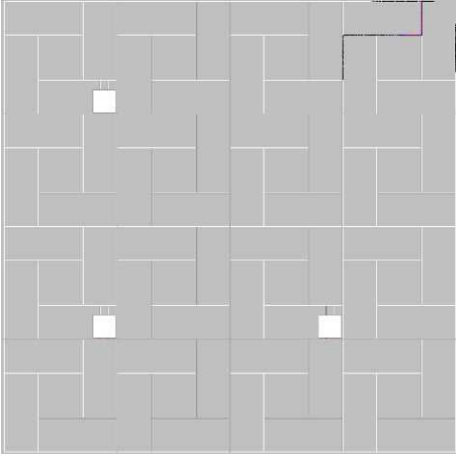
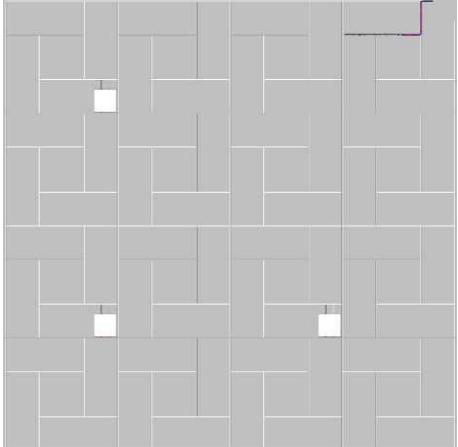
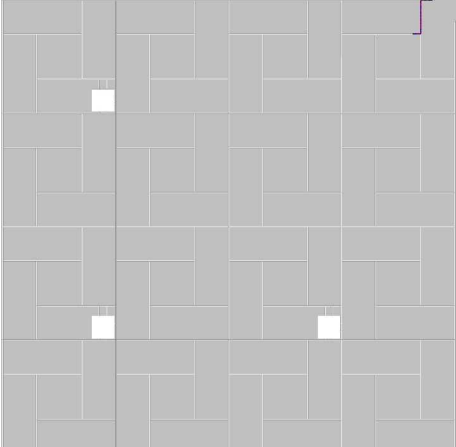
Case-1 2:00	Case-1 2:10
	
Case-1 2:20	Case-1 2:30
	
Case-1 2:40	Case-1 2:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-4 避難シミュレーション Case-1 における時間毎の避難状況(3:00~3:50)

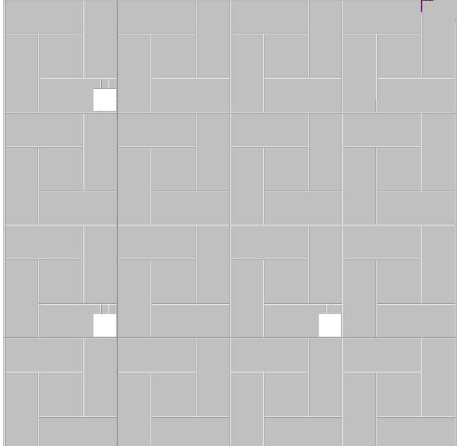
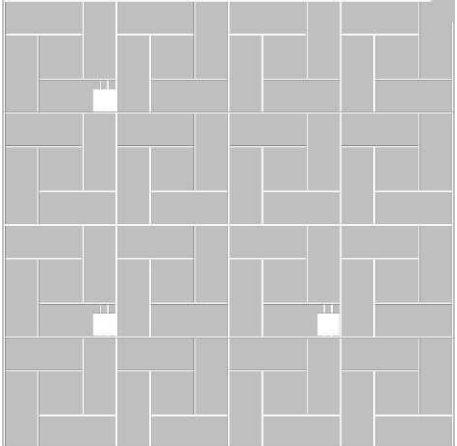
Case-1 3:00	Case-1 3:10
	
Case-1 3:20	Case-1 3:30
	
Case-1 3:40	Case-1 3:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-5 避難シミュレーション Case-1 における時間毎の避難状況(4:00～4:10)

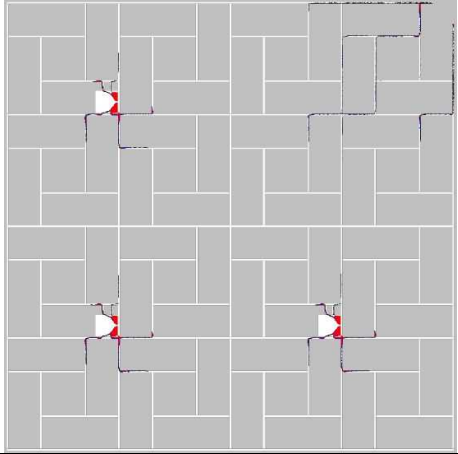
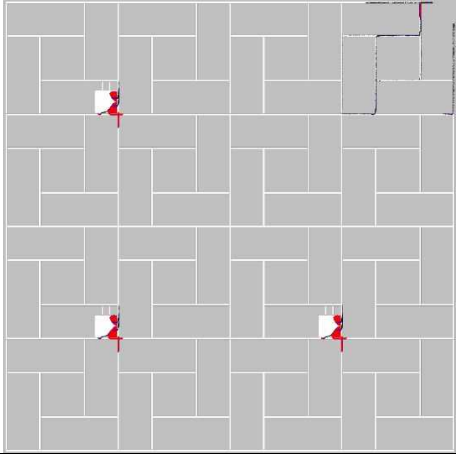
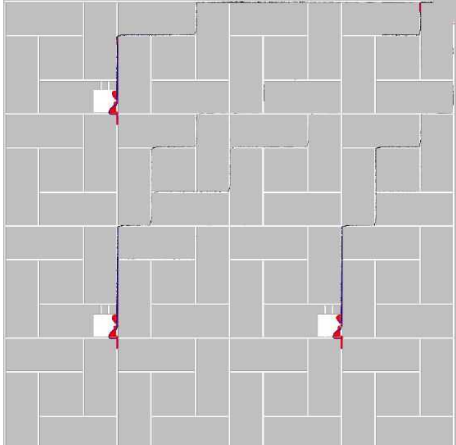
Case-1 4:00	Case-1 4:10 (避難終了)
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-6 避難シミュレーション Case-2 における時間毎の避難状況(0:00~0:50)

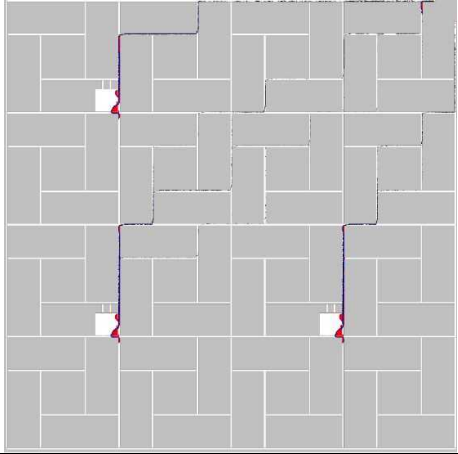
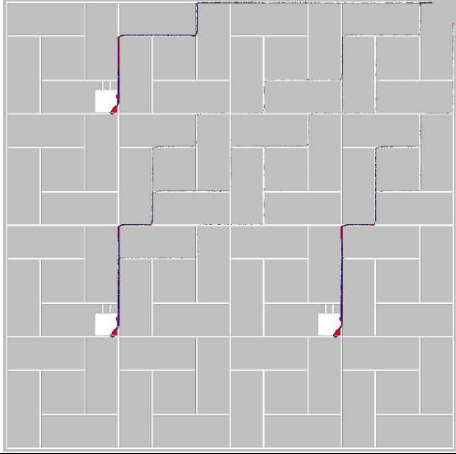
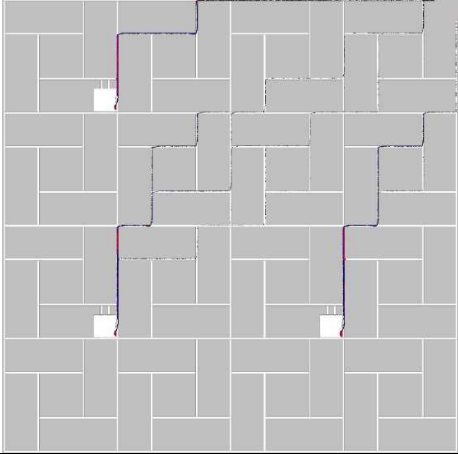
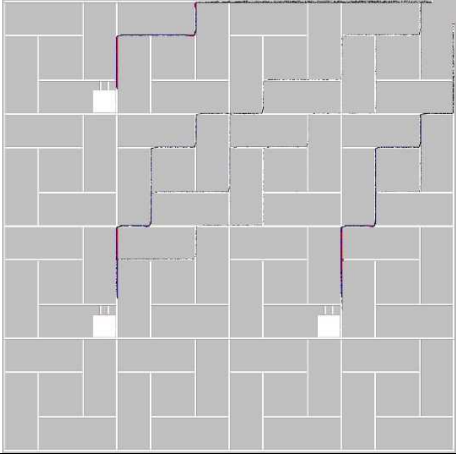
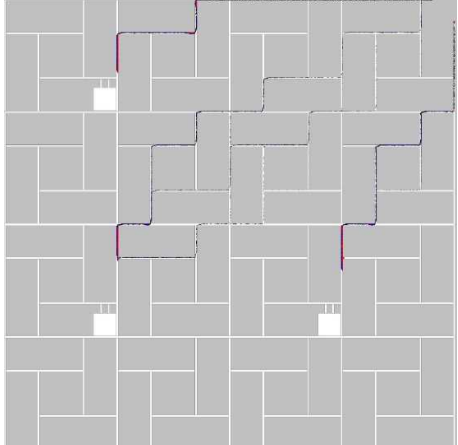
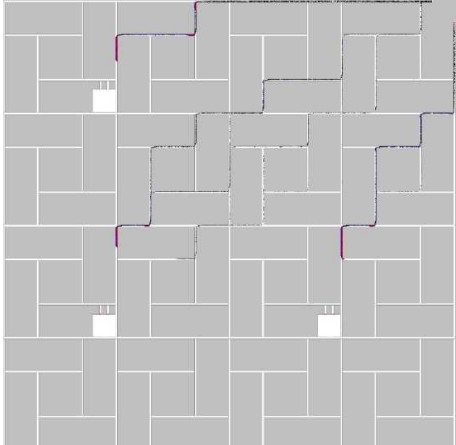
Case-2 0:00	Case-2 0:10
	
Case-2 0:20	Case-2 0:30
	
Case-2 0:40	Case-2 0:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-7 避難シミュレーション Case-2 における時間毎の避難状況(1:00~1:50)

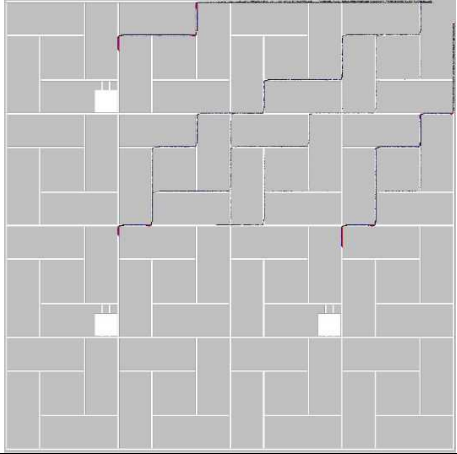
Case-2 1:00	Case-2 1:10
	
Case-2 1:20	Case-2 1:30
	
Case-2 1:40	Case-2 1:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-8 避難シミュレーション Case-2 における時間毎の避難状況(2:00~2:50)

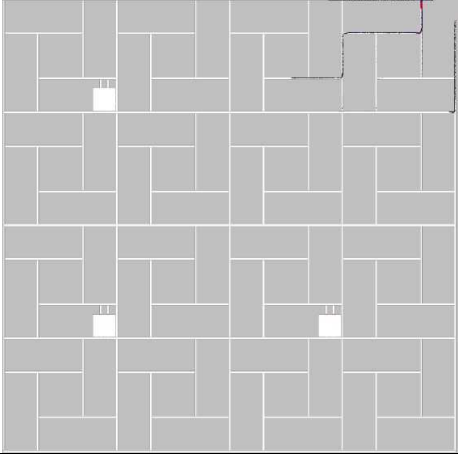
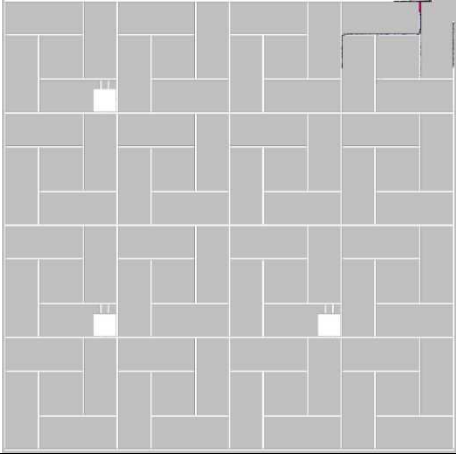
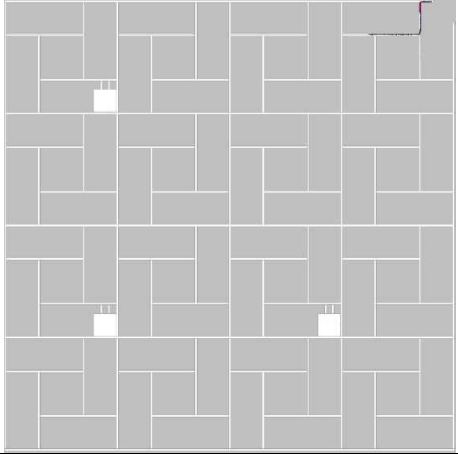
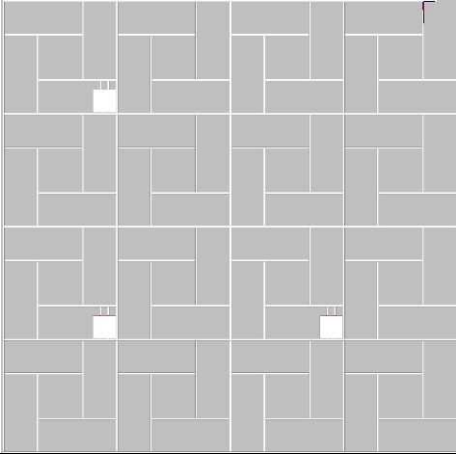
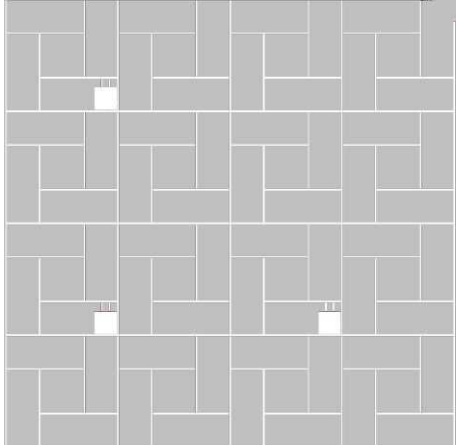
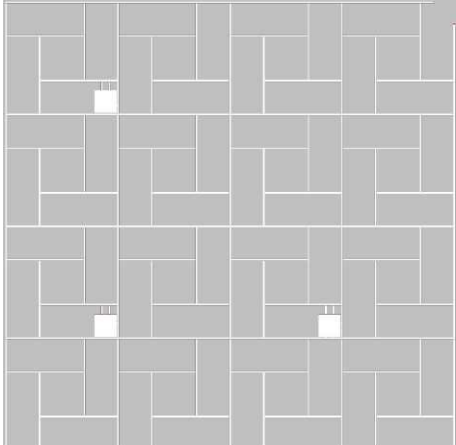
Case-2 2:00	Case-2 2:10
	
Case-2 2:20	Case-2 2:30
	
Case-2 2:40	Case-2 2:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-9 避難シミュレーション Case-2 における時間毎の避難状況(3:00~3:50)

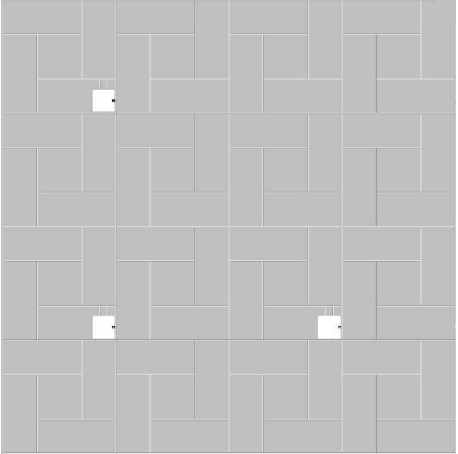
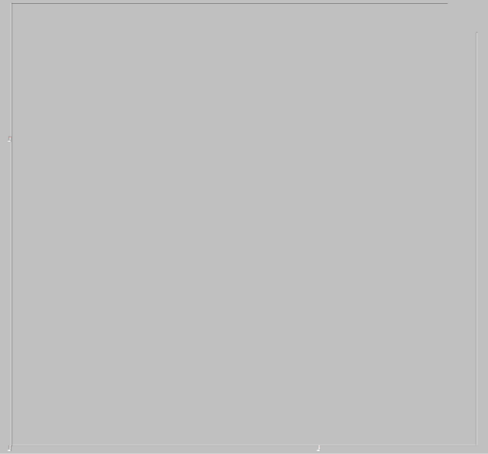
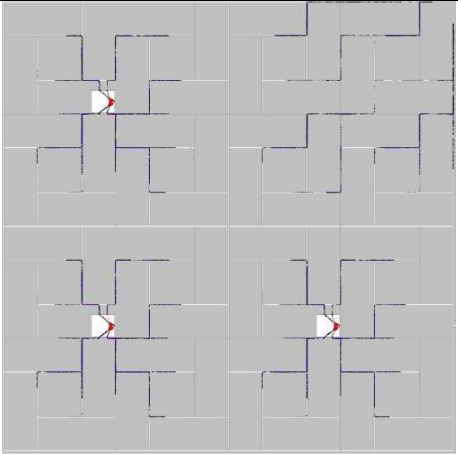

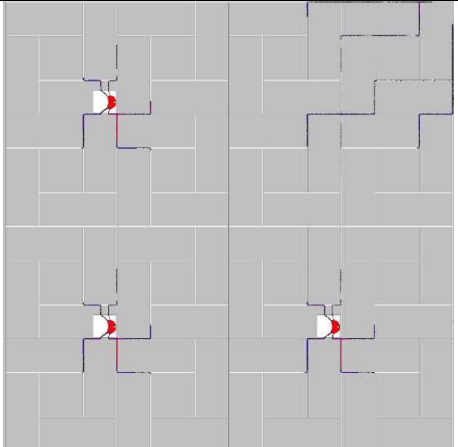
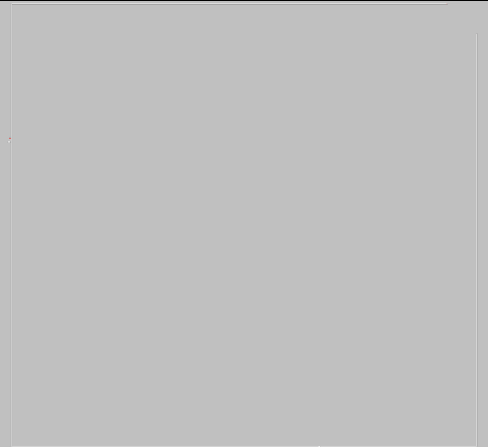
Case-2 3:00	Case-2 3:10
	
Case-2 3:20	Case-2 3:30
	
Case-2 3:40	Case-2 3:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-10 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-3(地上) 0:00	Case-3(地下) 0:00
	
Case-3(地上) 0:10	Case-3(地下) 0:10
	
Case-3(地上) 0:20	Case-3(地下) 0:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-11 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

Case-3(地上) 0:30	Case-3(地下) 0:30
Case-3(地上) 0:40	Case-3(地下) 0:40
Case-3(地上) 0:50	Case-3(地下) 0:50

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-12 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(1:00~1:20)

Case-3(地上) 1:00	Case-3(地下) 1:00
Case-3(地上) 1:10	Case-3(地下) 1:10
Case-3(地上) 1:20	Case-3(地下) 1:20

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-13 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

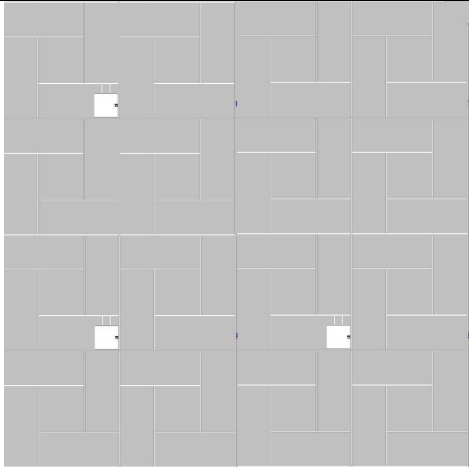
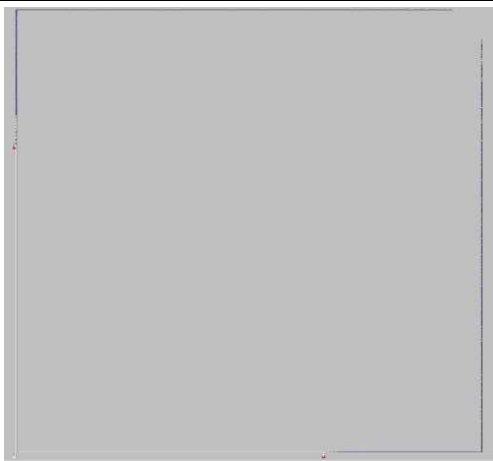
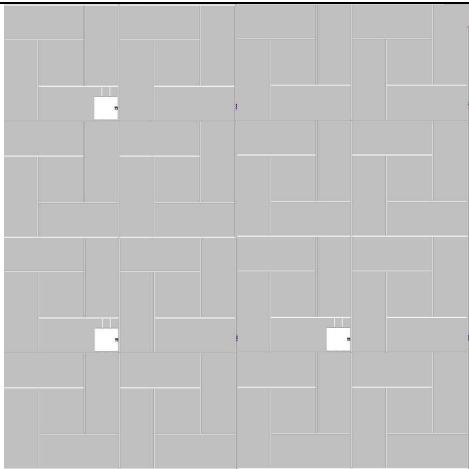

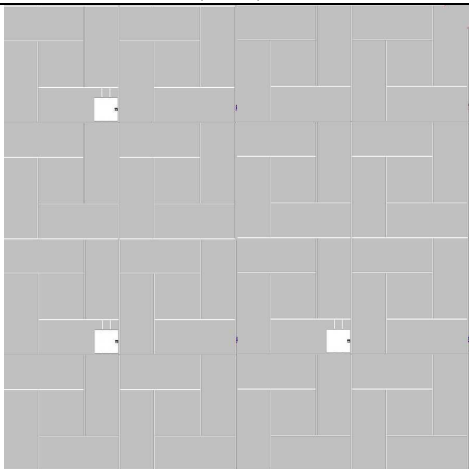
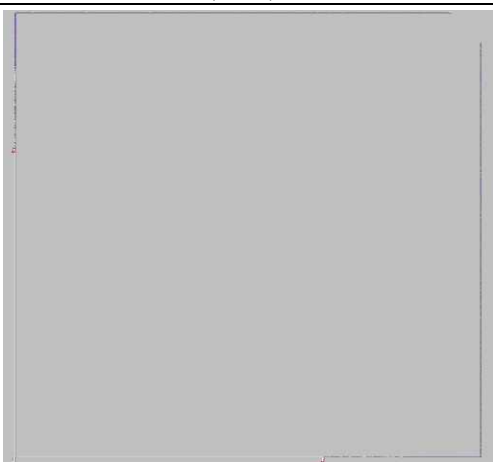
Case-3(地上) 1:30	Case-3(地下) 1:30
Case-3(地上) 1:40	Case-3(地下) 1:40
Case-3(地上) 1:50	Case-3(地下) 1:50

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-14 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(2:00～2:20)

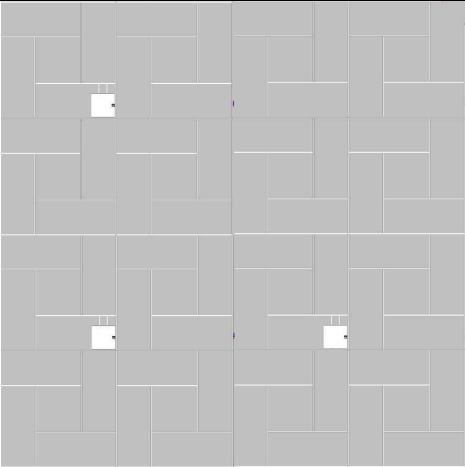

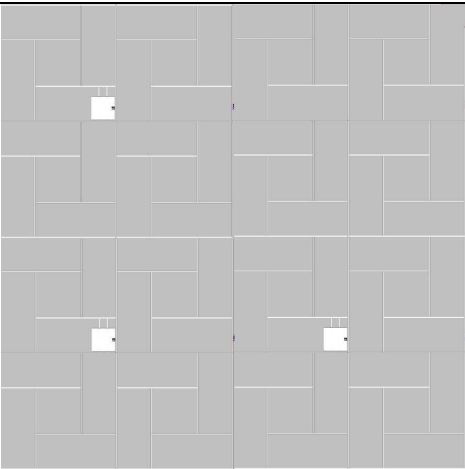
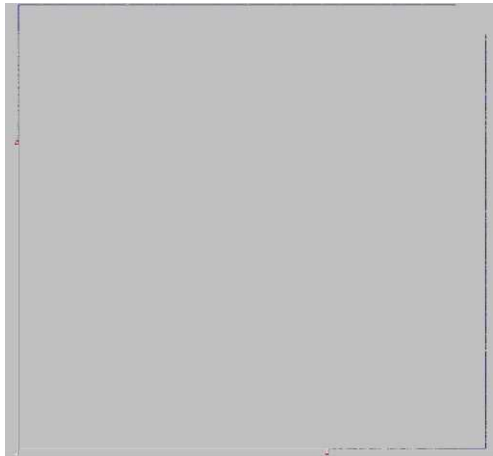
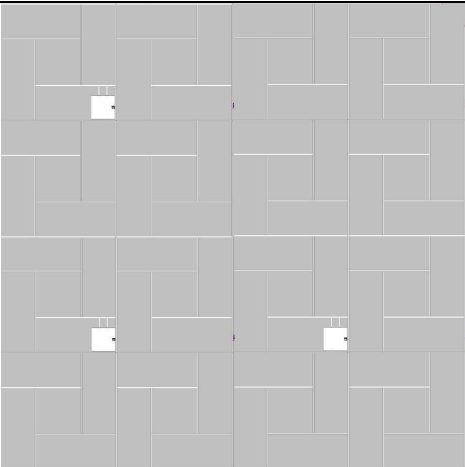
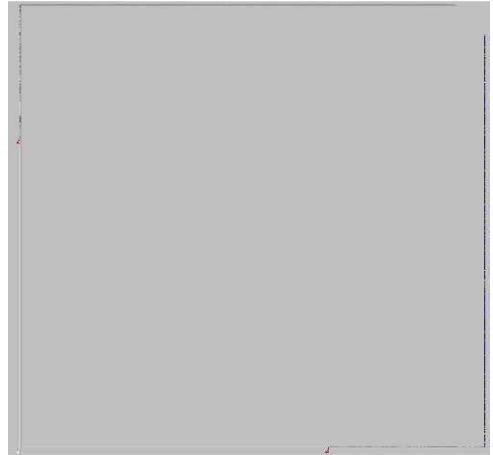
Case-3(地上) 2:00	Case-3(地下) 2:00
	
Case-3(地上) 2:10	Case-3(地下) 2:10
	
Case-3(地上) 2:20	Case-3(地下) 2:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-15 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(2:30~2:50)

Case-3(地上) 2:30	Case-3(地下) 2:30
	
Case-3(地上) 2:40	Case-3(地下) 2:40
	
Case-3(地上) 2:50	Case-3(地下) 2:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-16 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(3:00~3:20)

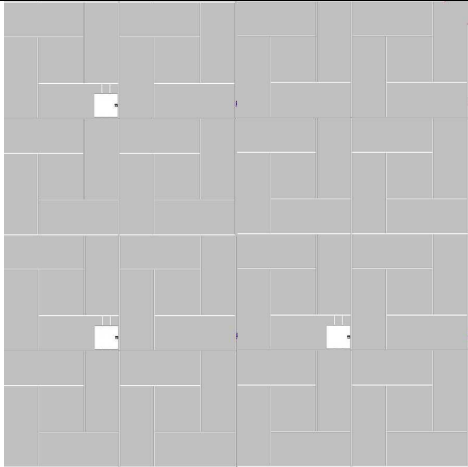
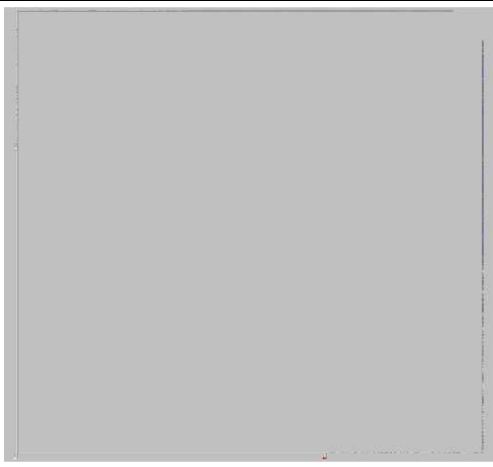
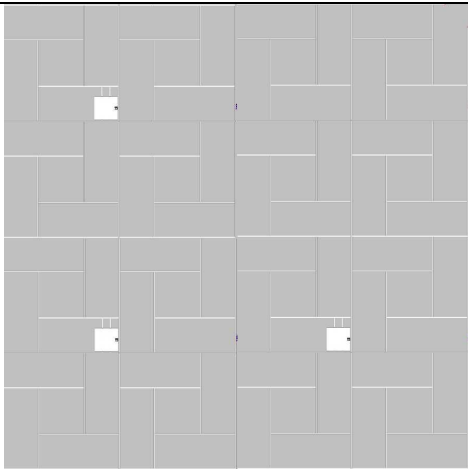
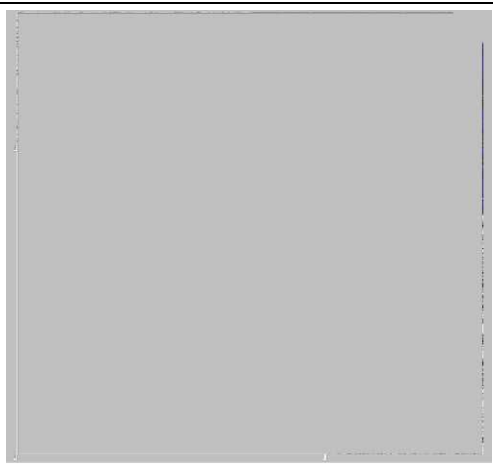
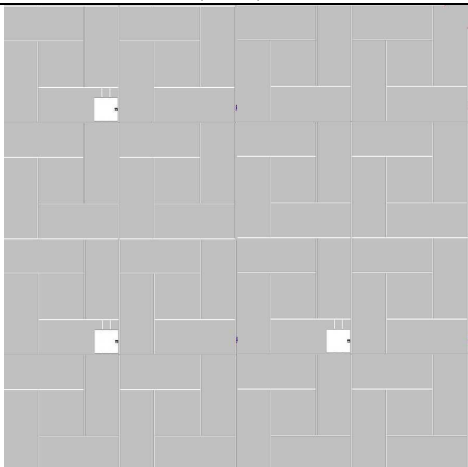
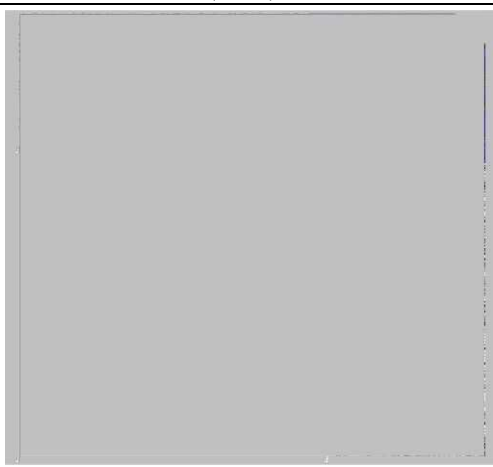
Case-3(地上) 3:00	Case-3(地下) 3:00
Case-3(地上) 3:10	Case-3(地下) 3:10
Case-3(地上) 3:20	Case-3(地下) 3:20

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-17 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(3:30~3:50)

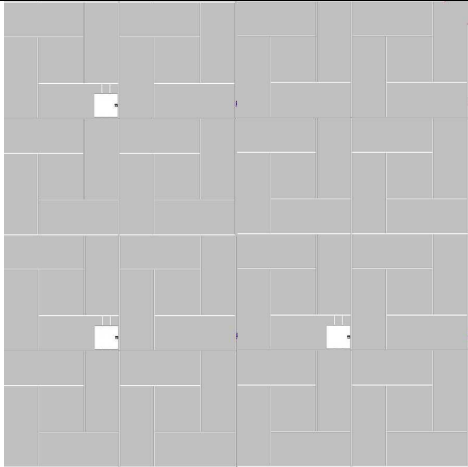
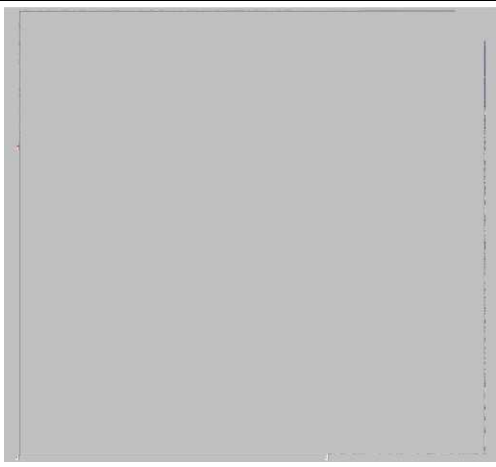
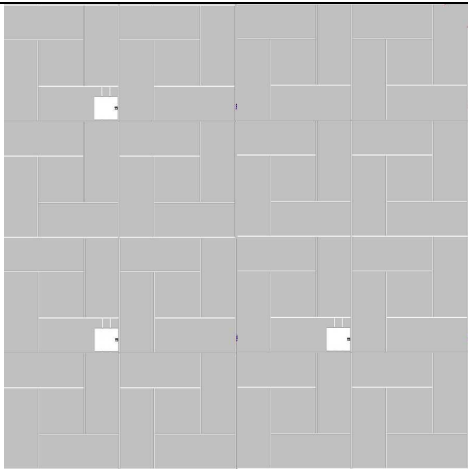
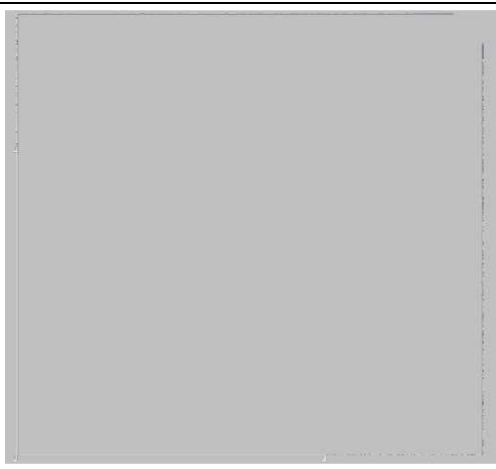
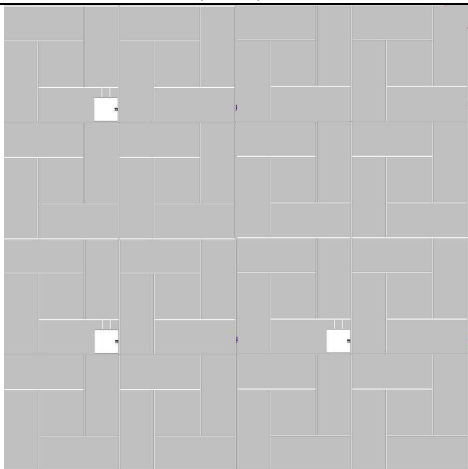
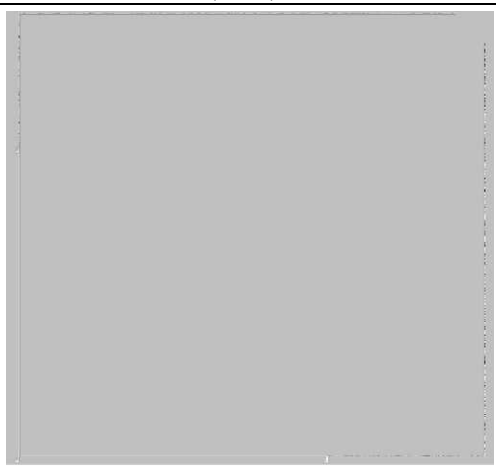
Case-3(地上) 3:30	Case-3(地下) 3:30
	
Case-3(地上) 3:40	Case-3(地下) 3:40
	
Case-3(地上) 3:50	Case-3(地下) 3:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-18 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(4:00～4:20)

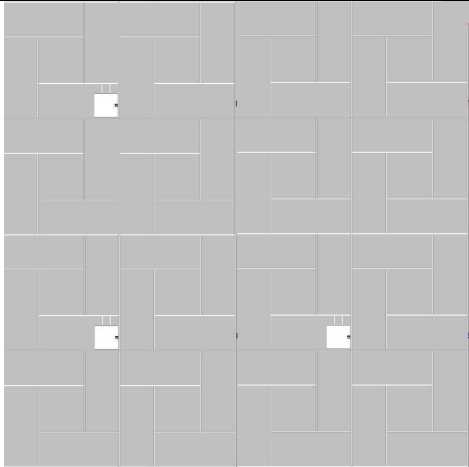
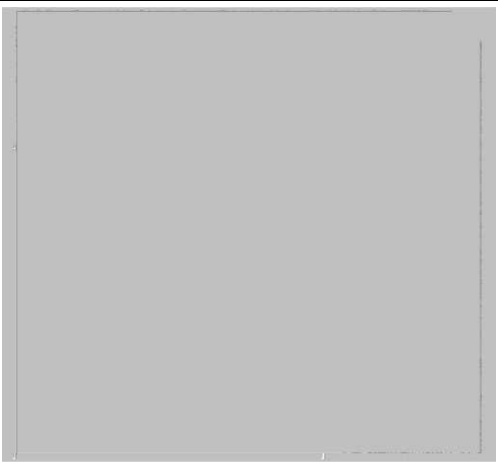
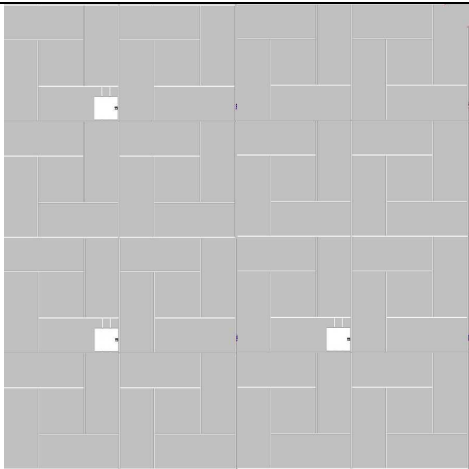
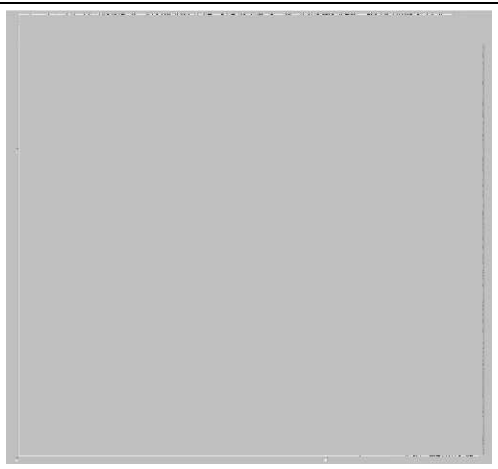
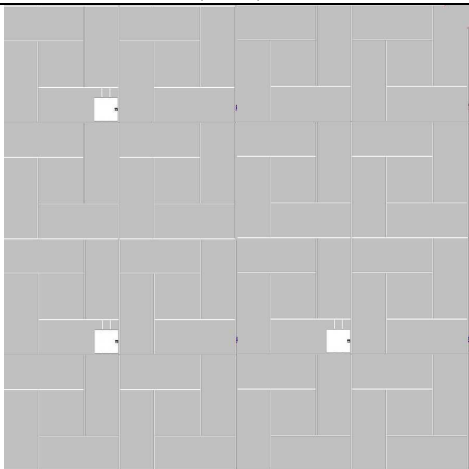

Case-3(地上) 4:00	Case-3(地下) 4:00
	
Case-3(地上) 4:10	Case-3(地下) 4:10
	
Case-3(地上) 4:20	Case-3(地下) 4:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-19 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(4:30~4:50)

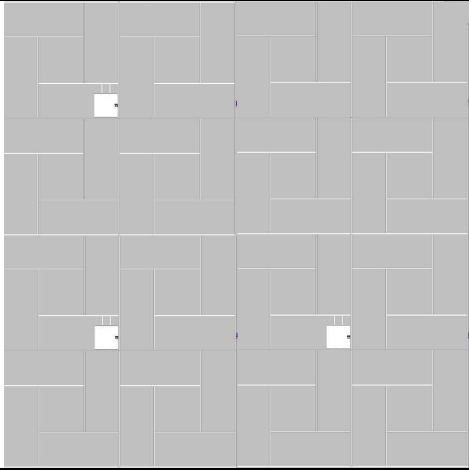
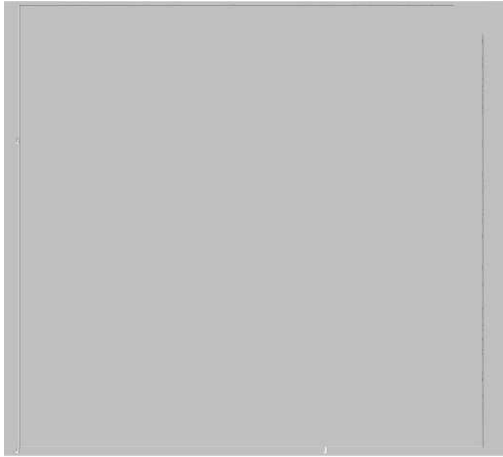
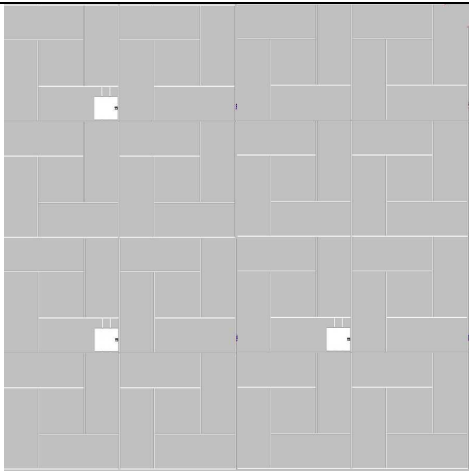

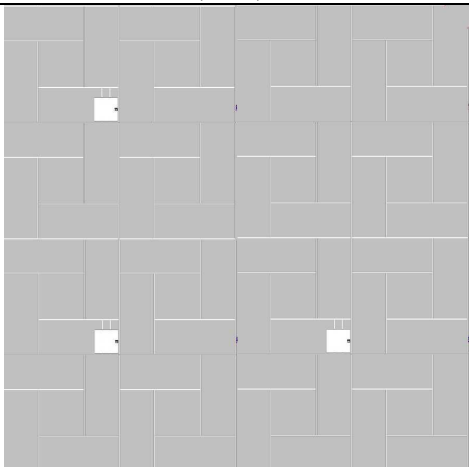
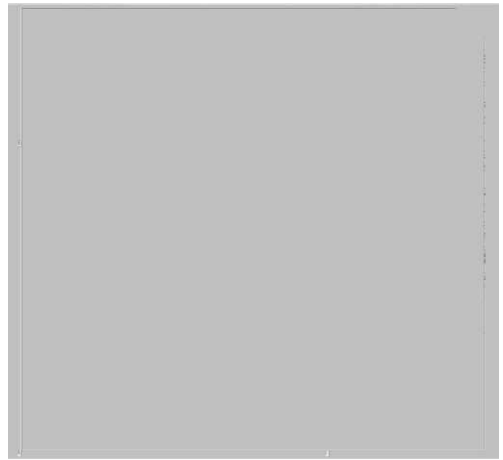
Case-3(地上) 4:30	Case-3(地下) 4:30
	
Case-3(地上) 4:40	Case-3(地下) 4:40
	
Case-3(地上) 4:50	Case-3(地下) 4:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-20 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(5:00～5:20)

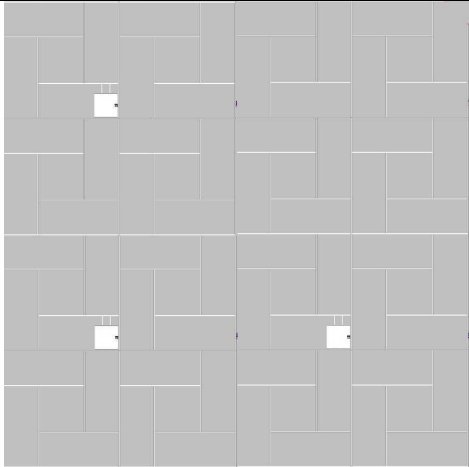
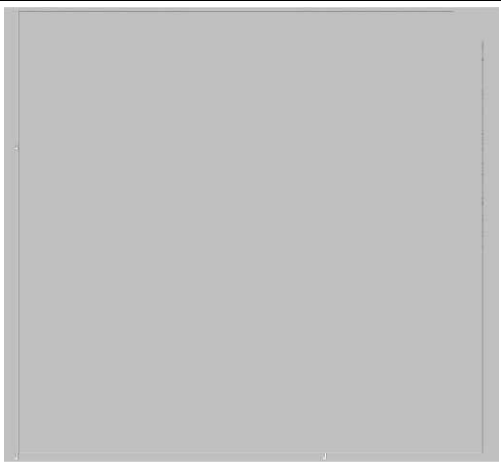
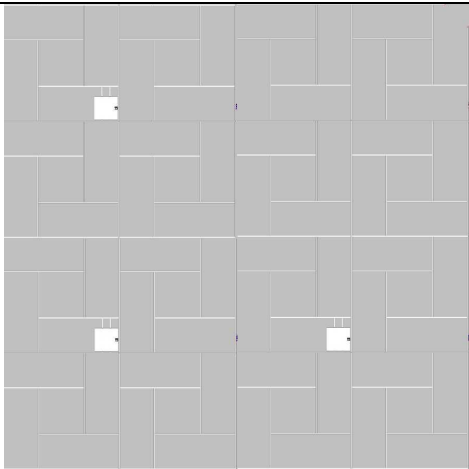
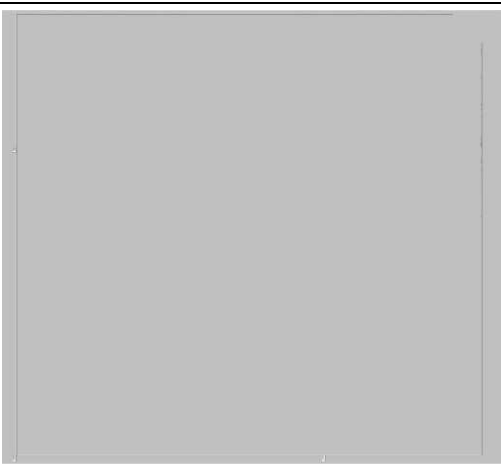
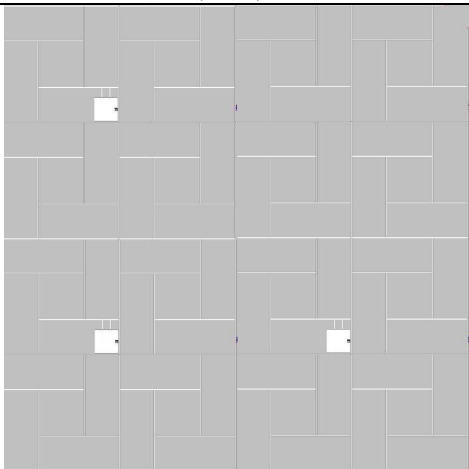
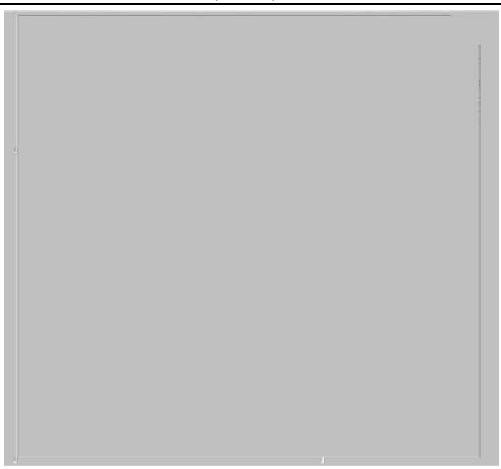
Case-3(地上) 5:00	Case-3(地下) 5:00
	
Case-3(地上) 5:10	Case-3(地下) 5:10
	
Case-3(地上) 5:20	Case-3(地下) 5:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-21 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(5:30～5:50)

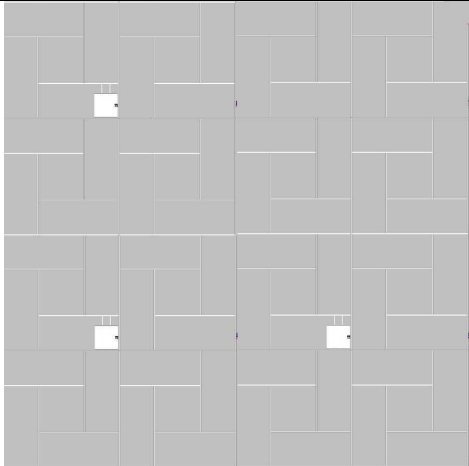
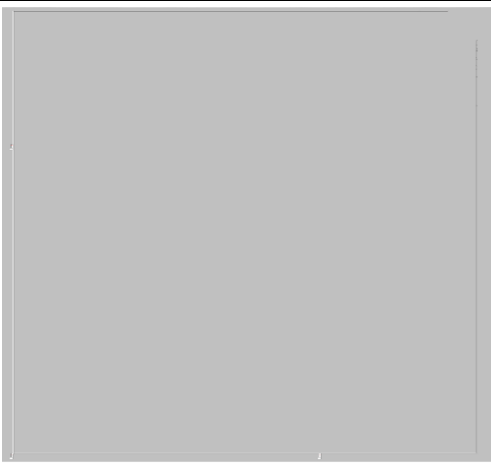
Case-3(地上) 5:30	Case-3(地下) 5:30
	
Case-3(地上) 5:40	Case-3(地下) 5:40
	
Case-3(地上) 5:50	Case-3(地下) 5:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

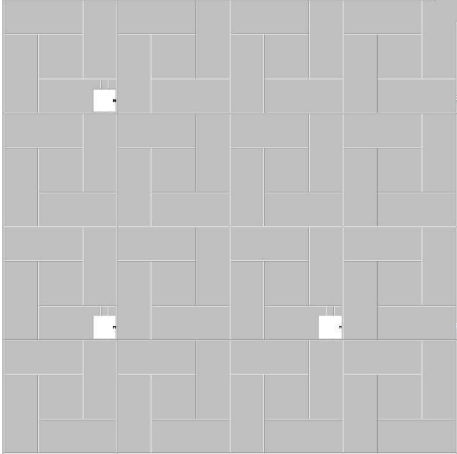
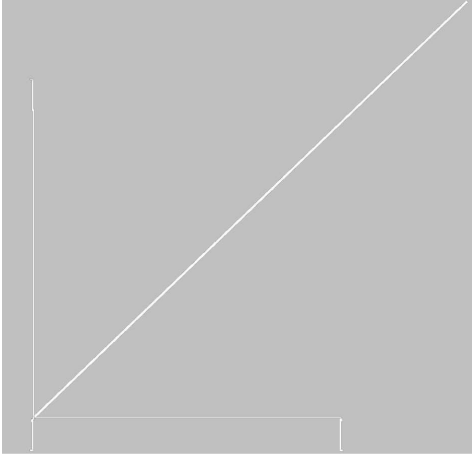
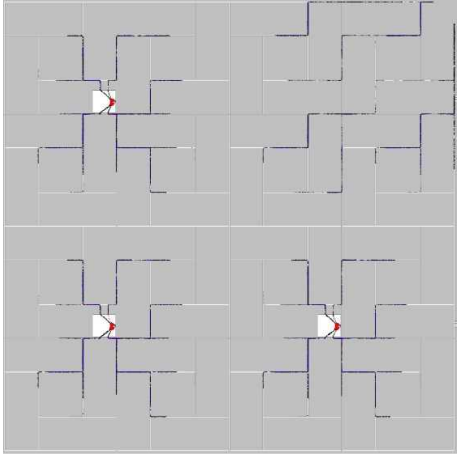
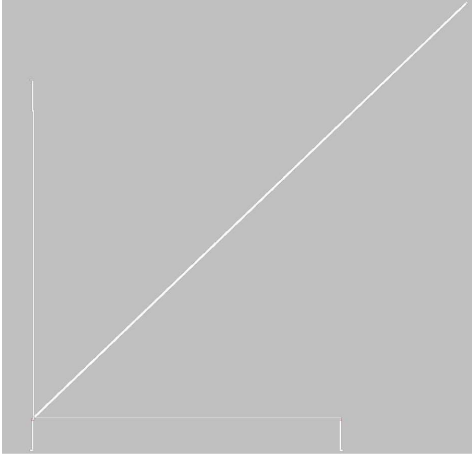
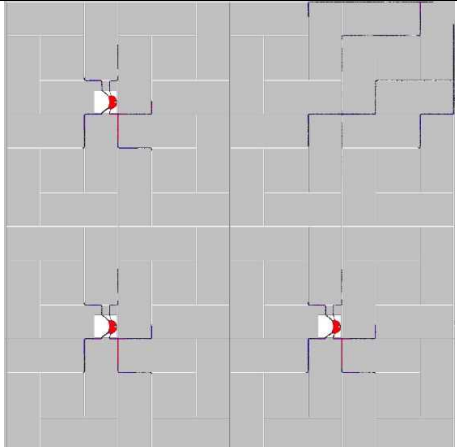
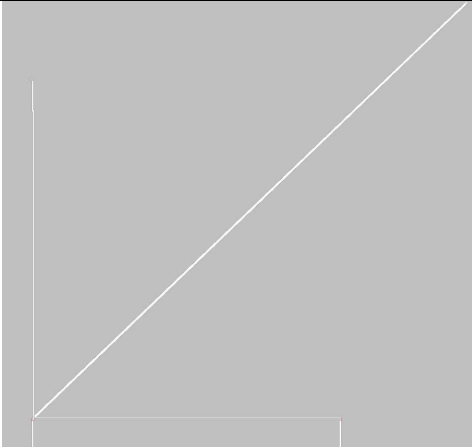
赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-22 避難シミュレーション Case-3 における時間毎の避難状況(6:00～6:20)

Case-3(地上) 6:00	Case-3(地下) 6:00
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-23 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-4(地上) 0:00	Case-4(地下) 0:00
	
Case-4(地上) 0:10	Case-4(地下) 0:10
	
Case-4(地上) 0:20	Case-4(地下) 0:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-24 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

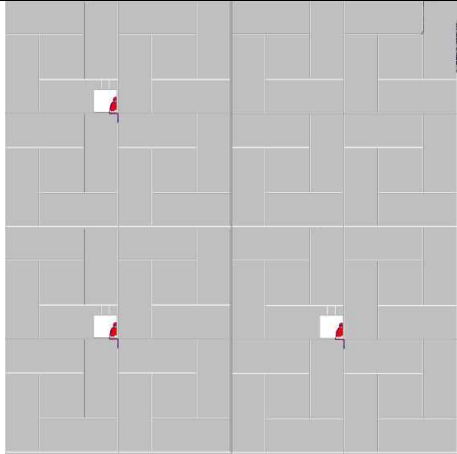
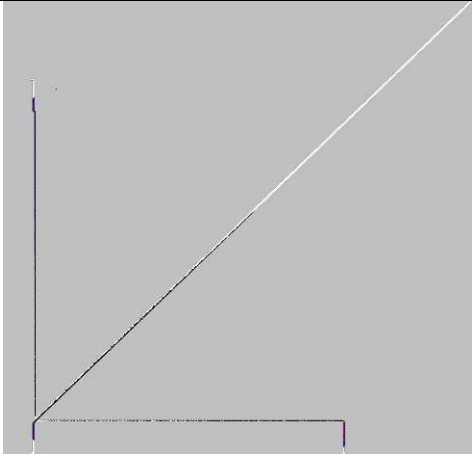
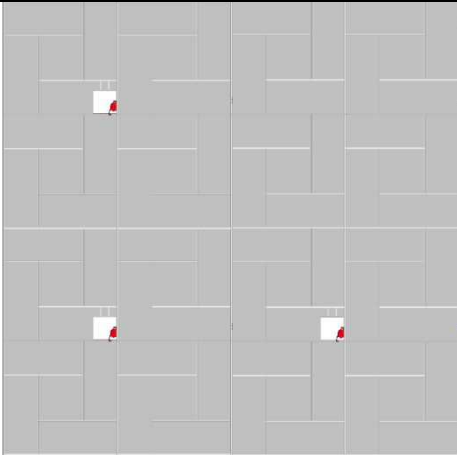
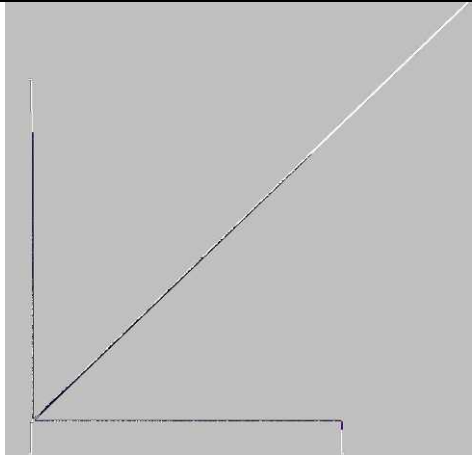
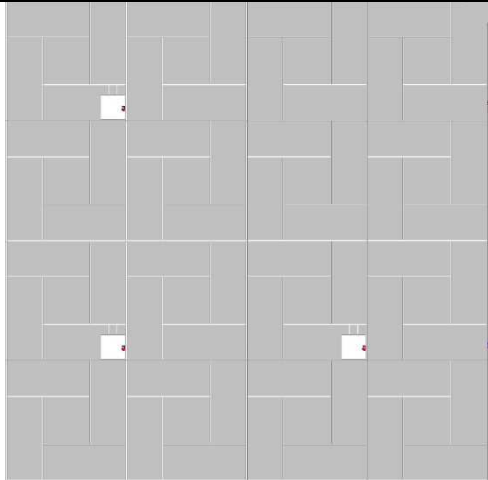
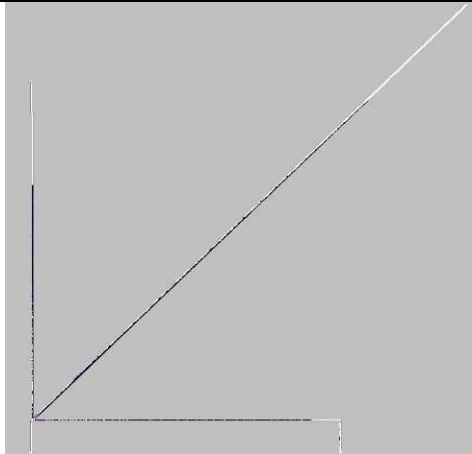
Case-4(地上) 0:30	Case-4(地下) 0:30
Case-4(地上) 0:40	Case-4(地下) 0:40
Case-4(地上) 0:50	Case-4(地下) 0:50

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-25 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(1:00~0:20)

Case-4(地上) 1:00	Case-4(地下) 1:00
	
Case-4(地上) 1:10	Case-4(地下) 1:10
	
Case-4(地上) 1:20	Case-4(地下) 1:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-26 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

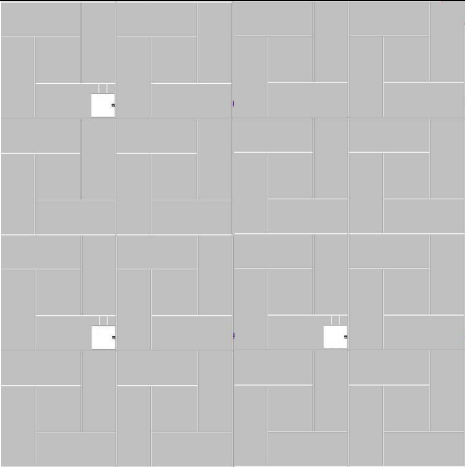
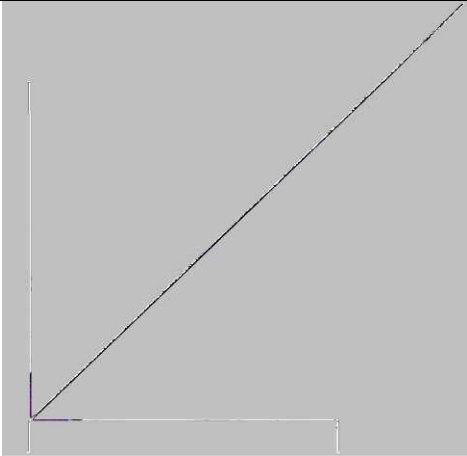
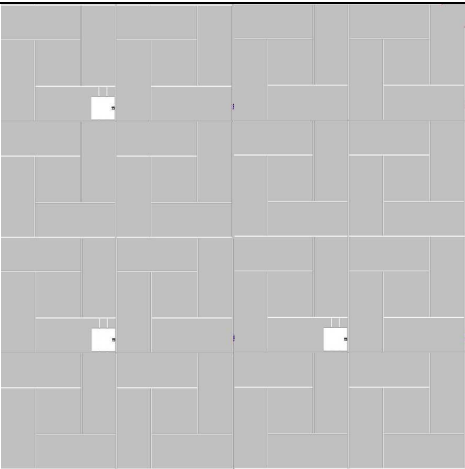
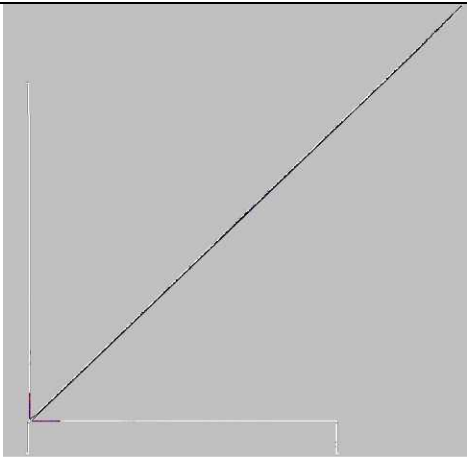
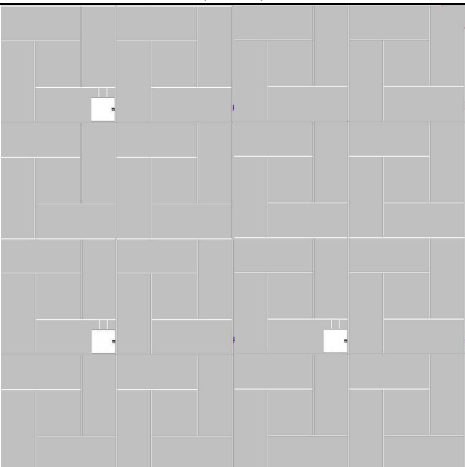
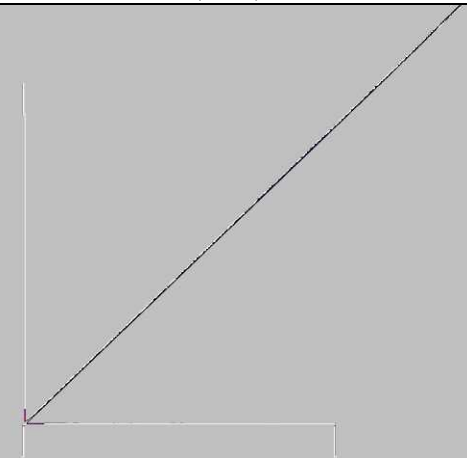
Case-4(地上) 1:30	Case-4(地下) 1:30
Case-4(地上) 1:40	Case-4(地下) 1:40
Case-4(地上) 1:50	Case-4(地下) 1:50

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-27 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(2:00~2:20)

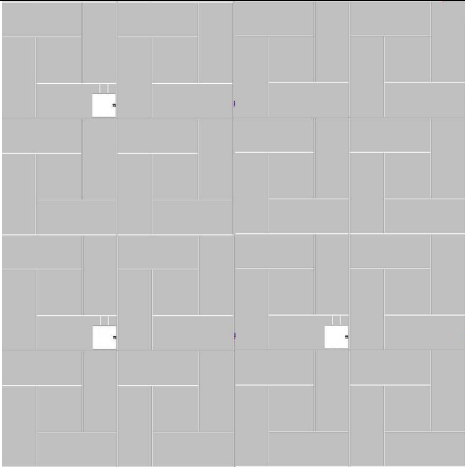
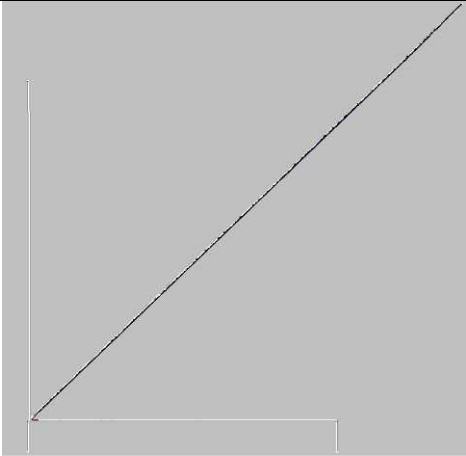
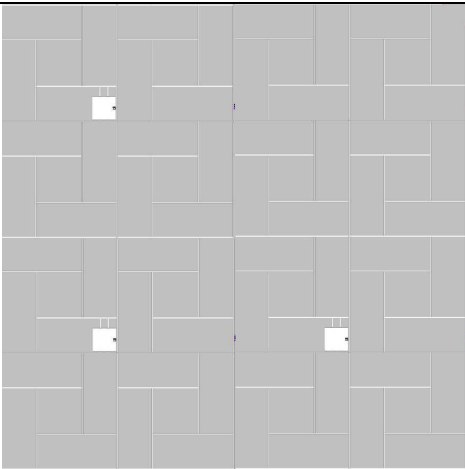
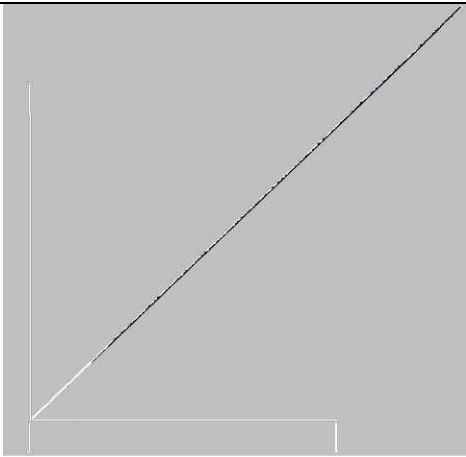
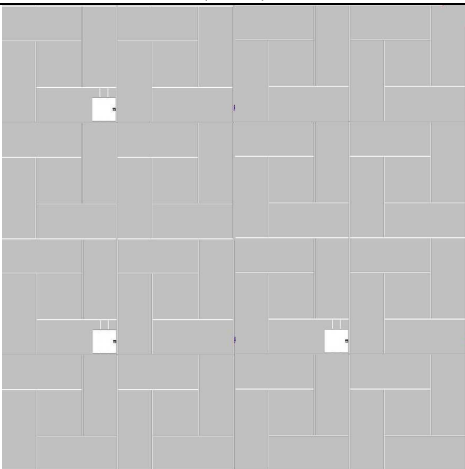
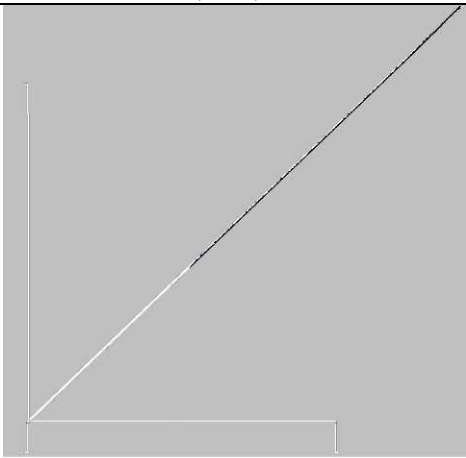
Case-4(地上) 2:00	Case-4(地下) 2:00
	
Case-4(地上) 2:10	Case-4(地下) 2:10
	
Case-4(地上) 2:20	Case-4(地下) 2:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-28 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(2:30~2:50)

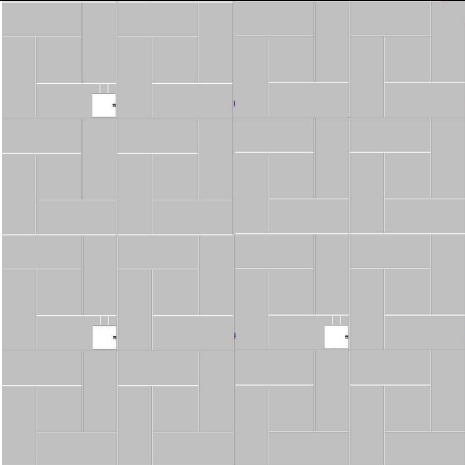
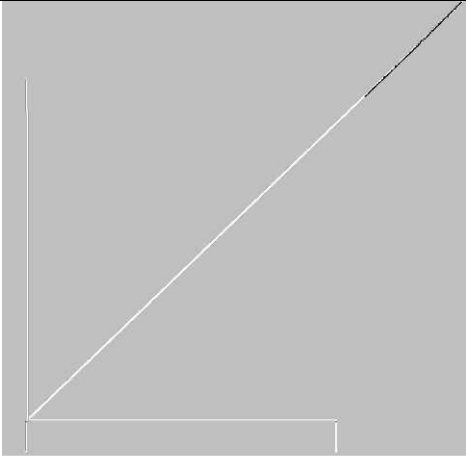
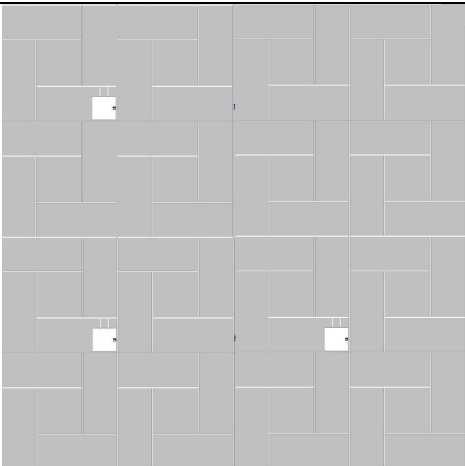
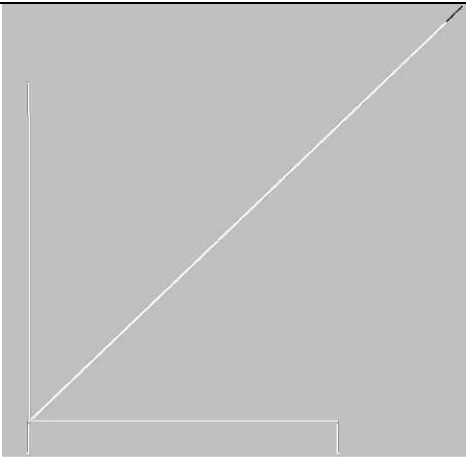
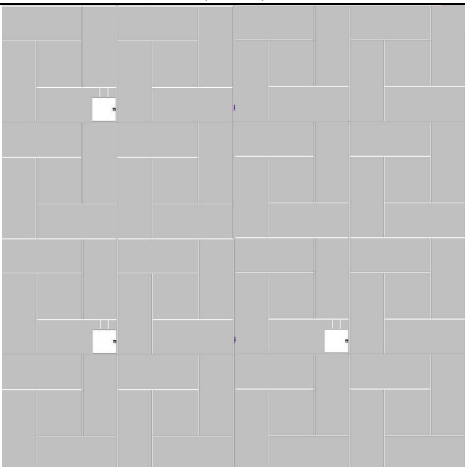
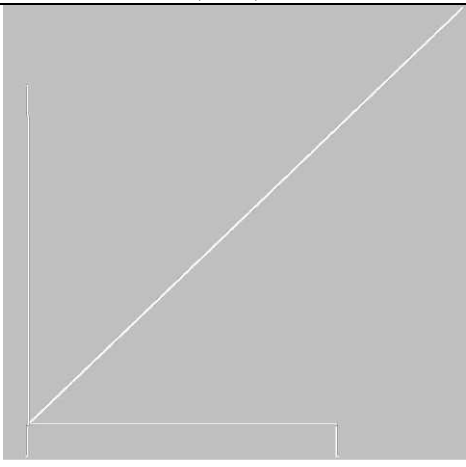
Case-4(地上) 2:30	Case-4(地下) 2:30
	
Case-4(地上) 2:40	Case-4(地下) 2:40
	
Case-4(地上) 2:50	Case-4(地下) 2:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-29 避難シミュレーション Case-4 における時間毎の避難状況(3:00~3:20)

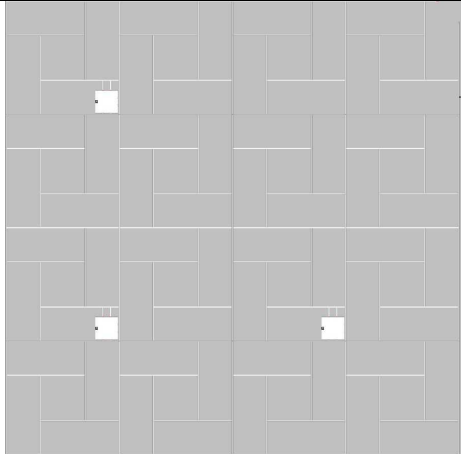

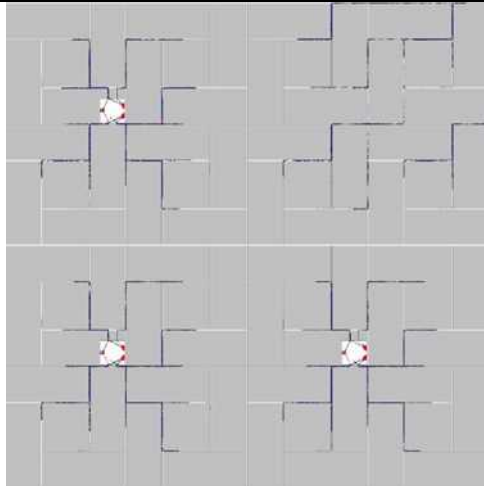
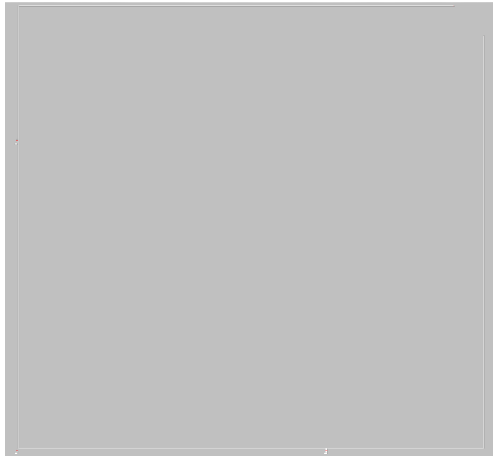
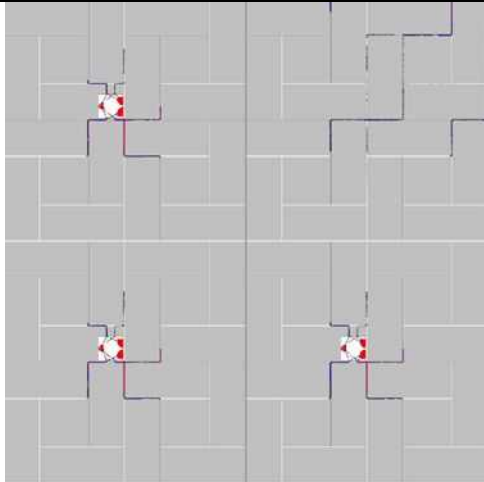
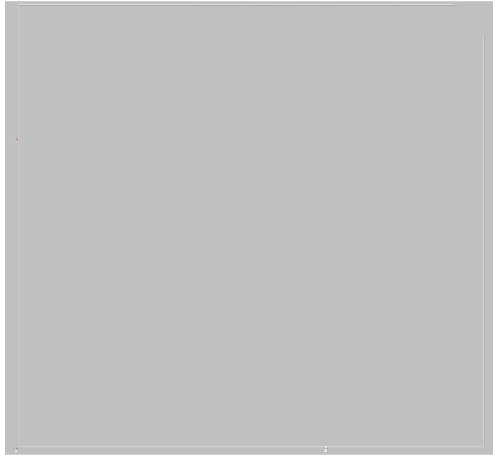
Case-4(地上) 3:00	Case-4(地下) 3:00
	
Case-4(地上) 3:10	Case-4(地下) 3:10
	
Case-4(地上) 3:20	Case-4(地下) 3:20
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態

青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態

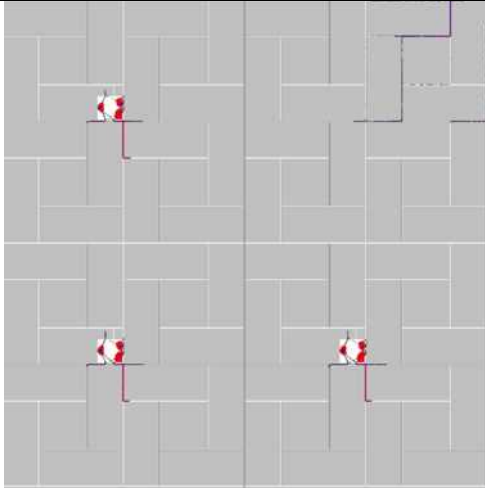
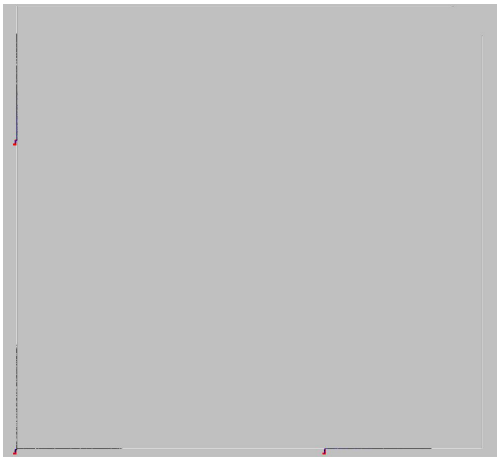
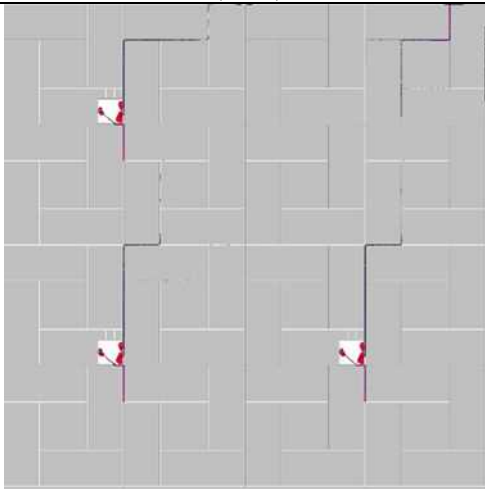
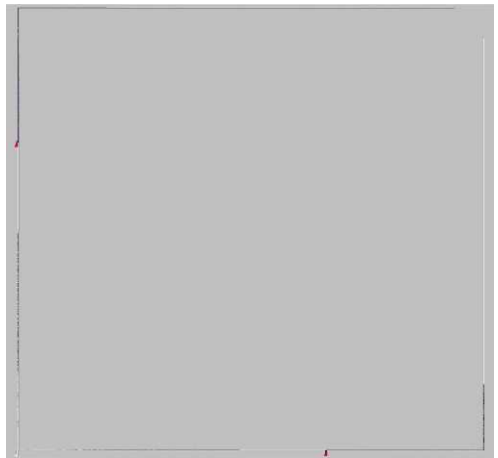
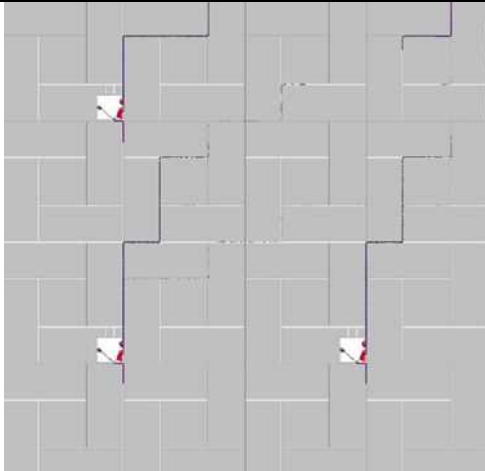
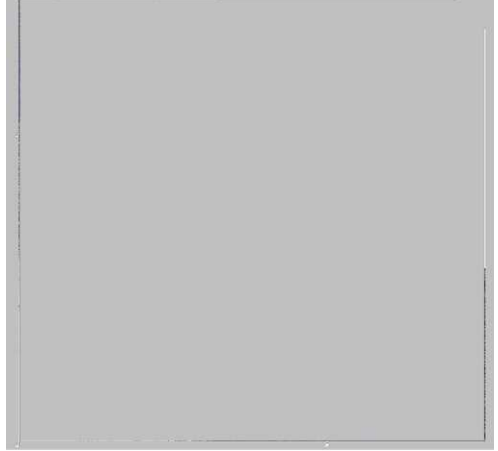
赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-30 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-5 (地上) 0:00	Case-5 (地下) 0:00
	
Case-5 (地上) 0:10	Case-5 (地下) 0:10
	
Case-5 (地上) 0:20	Case-5 (地下) 0:20
	

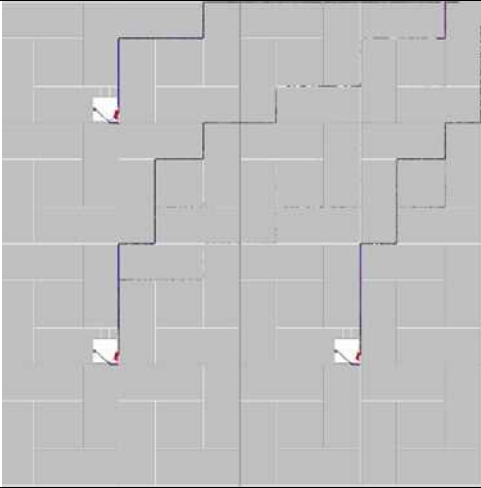
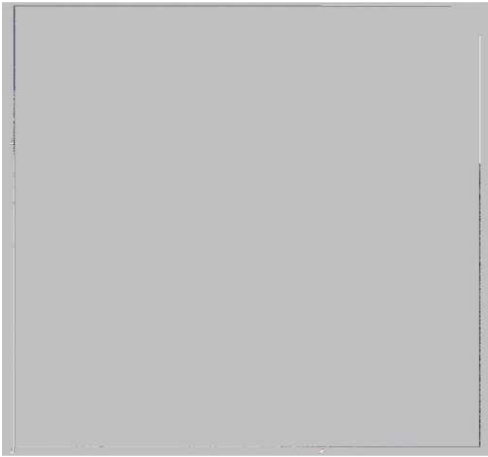
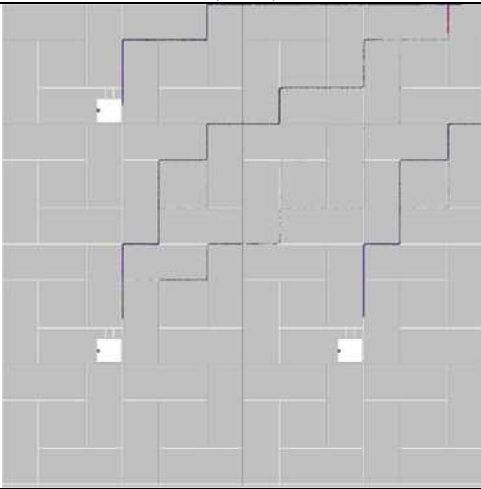
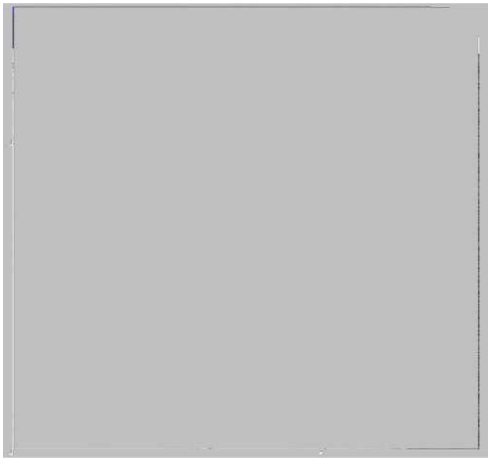
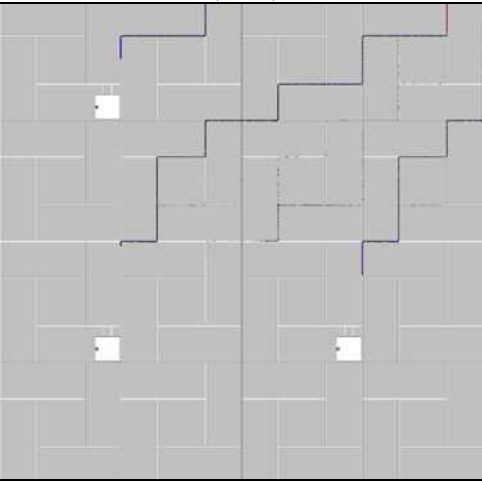
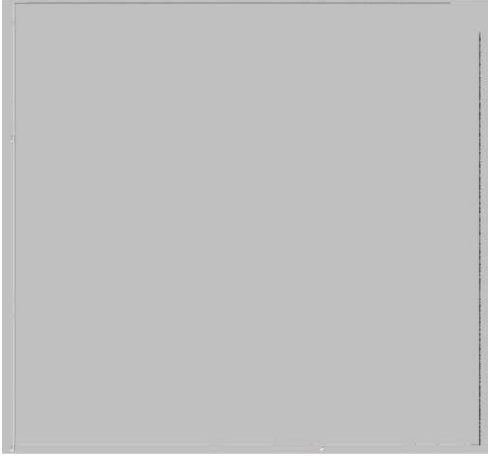
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-31 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

Case-5 (地上) 0:30	Case-5 (地下) 0:30
	
Case-5 (地上) 0:40	Case-5 (地下) 0:40
	
Case-5 (地上) 0:50	Case-5 (地下) 0:50
	

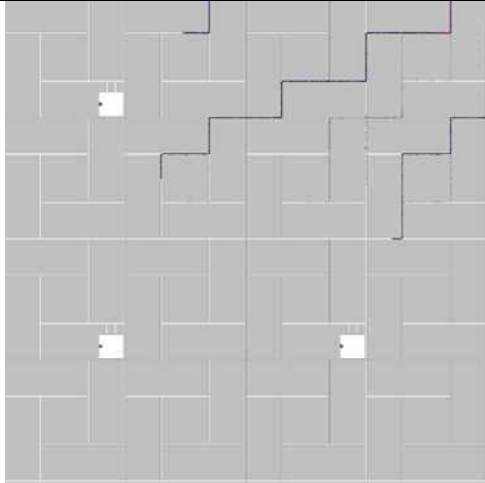
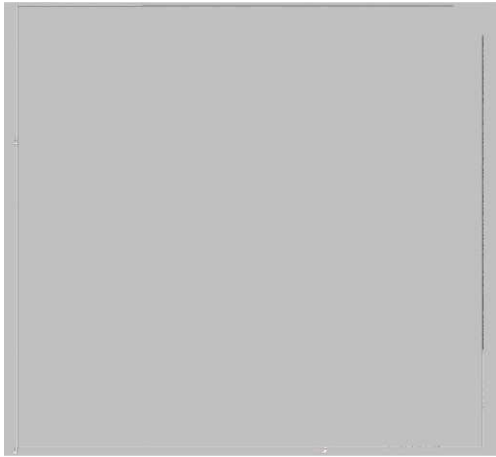
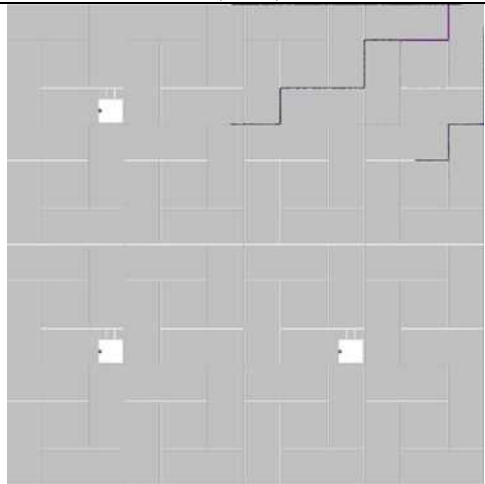
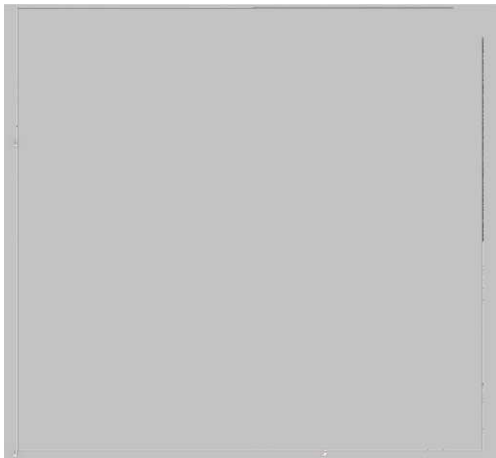
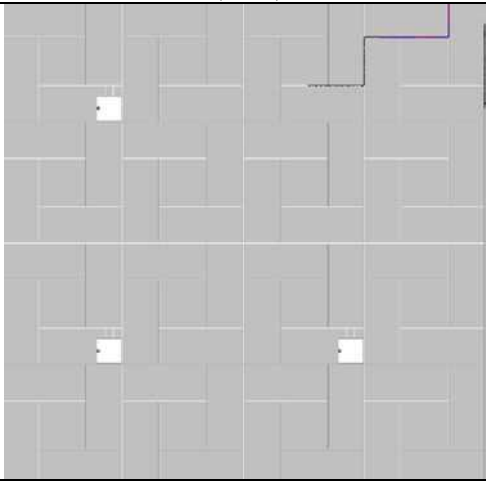
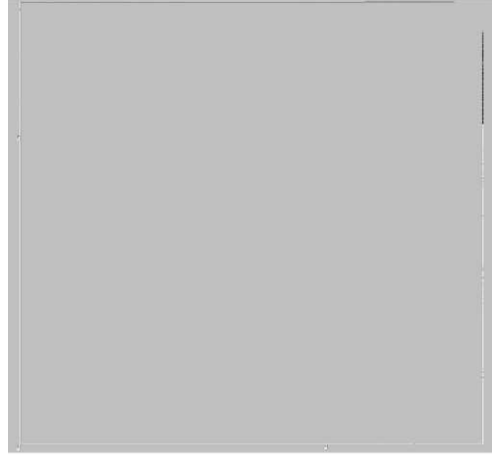
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-32 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(1:00~1:20)

Case-5 (地上) 1:00	Case-5 (地下) 1:00
	
Case-5 (地上) 1:10	Case-5 (地下) 1:10
	
Case-5 (地上) 1:20	Case-5 (地下) 1:20
	

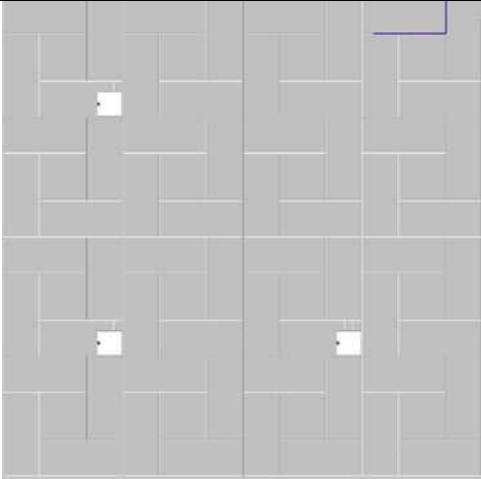

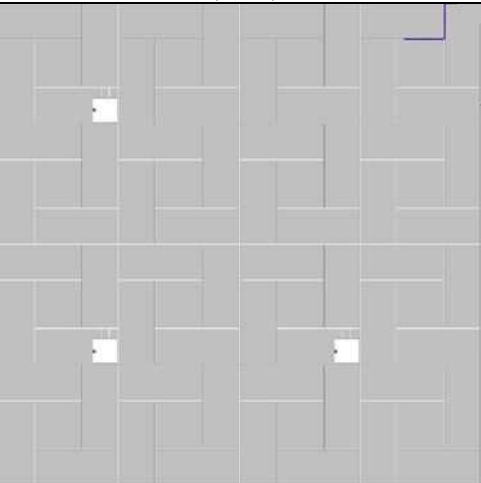
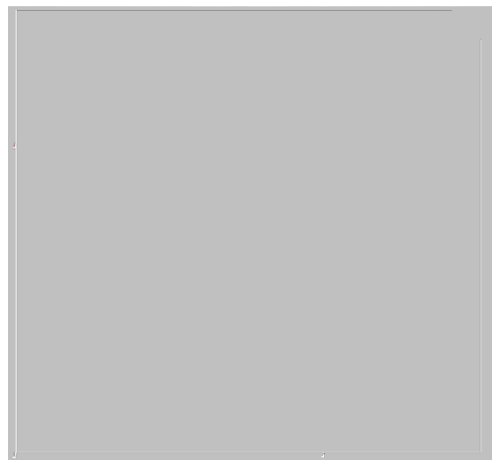
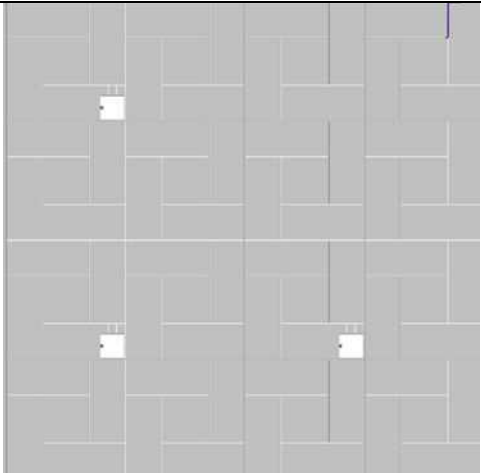
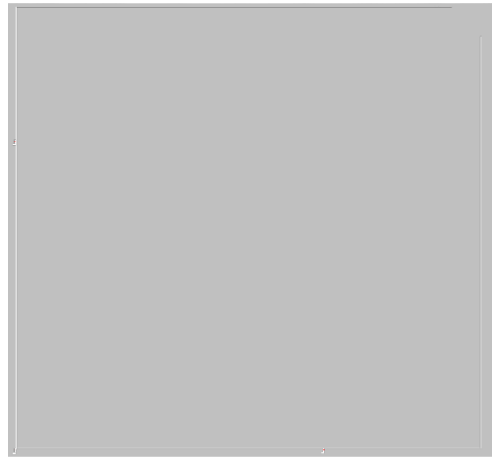
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-33 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

Case-5 (地上) 1:30	Case-5 (地下) 1:30
	
Case-5 (地上) 1:40	Case-5 (地下) 1:40
	
Case-5 (地上) 1:50	Case-5 (地下) 1:50
	

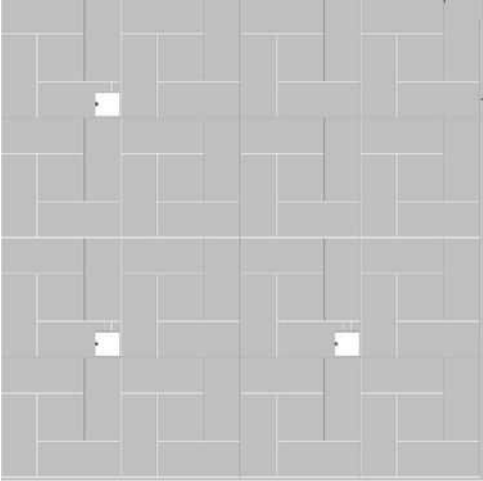

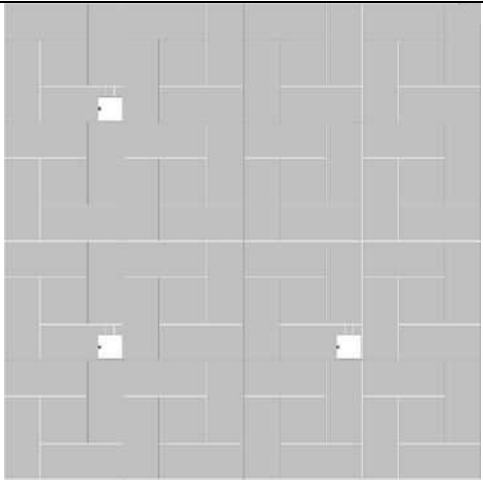

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-34 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(2:00~2:20)

Case-5 (地上) 2:00	Case-5 (地下) 2:00
	
Case-5 (地上) 2:10	Case-5 (地下) 2:10
	
Case-5 (地上) 2:20	Case-5 (地下) 2:20
	

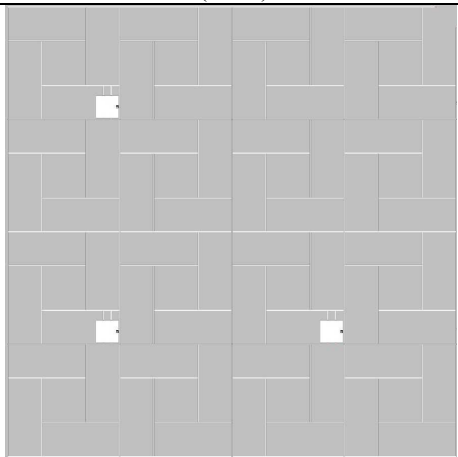
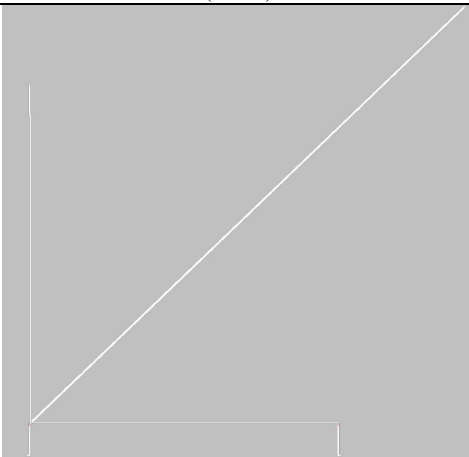
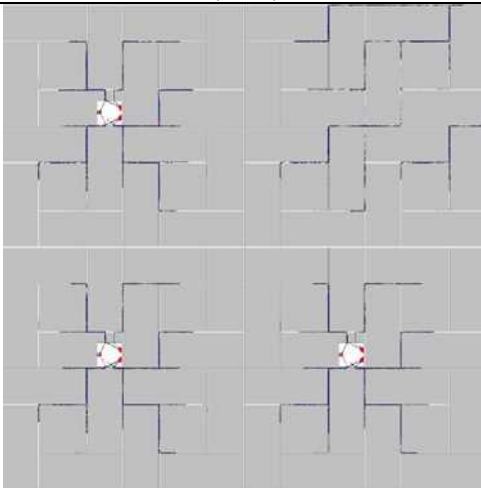
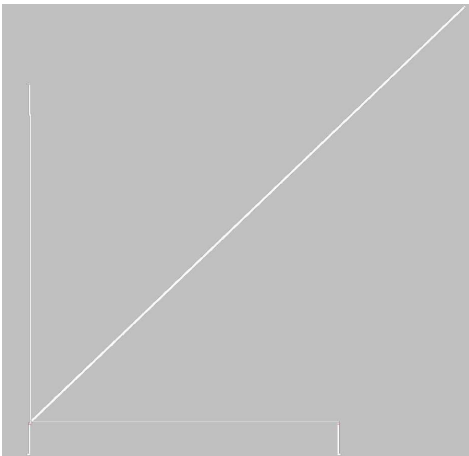
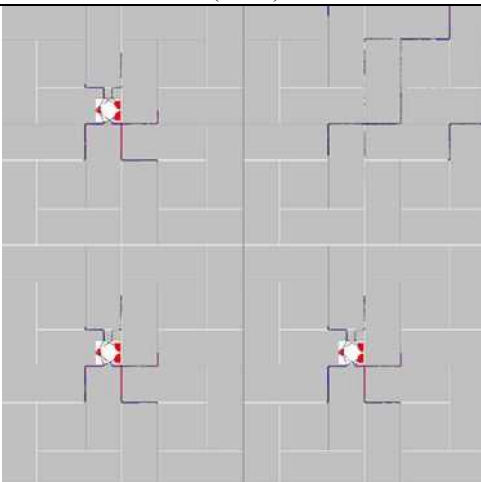
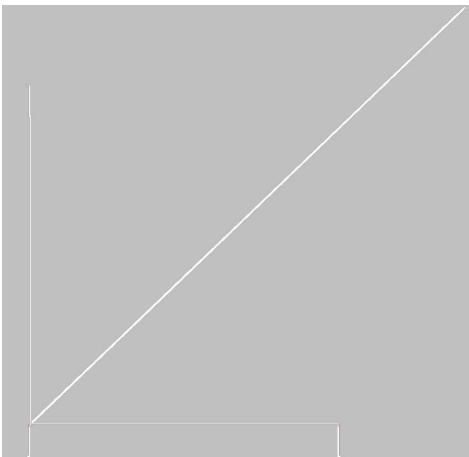
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-35 避難シミュレーション Case-5 における時間毎の避難状況(2:30~2:40)

Case-5 (地上) 2:30	Case-5 (地下) 2:30
	
Case-5 (地上) 2:40	Case-5 (地下) 2:40
	

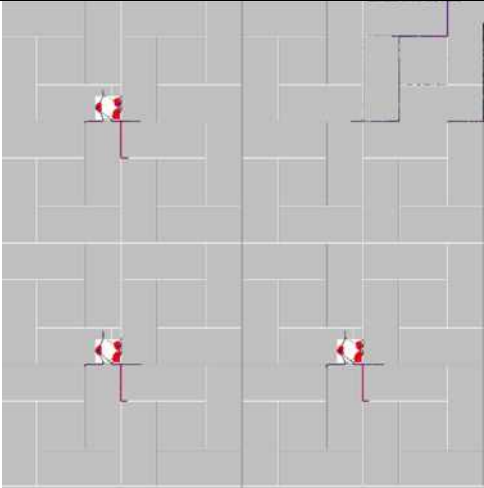
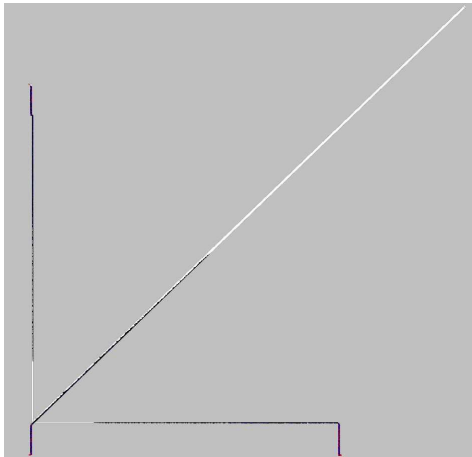
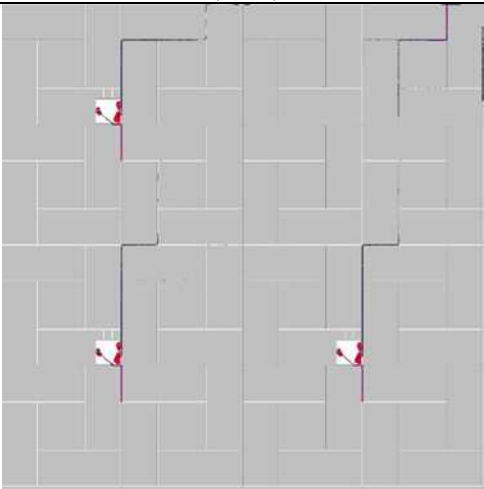
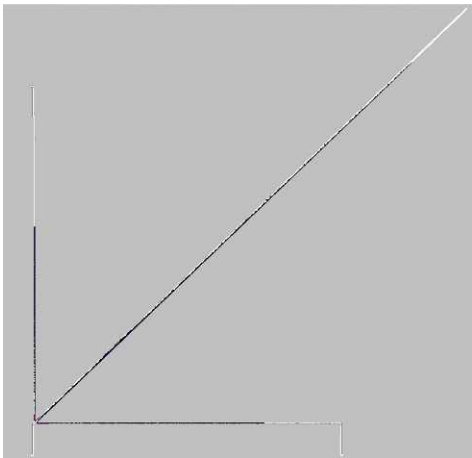
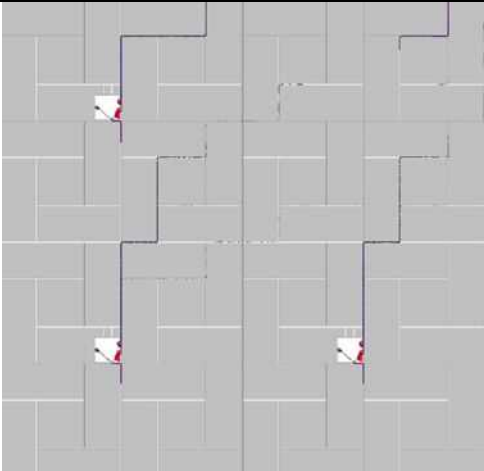
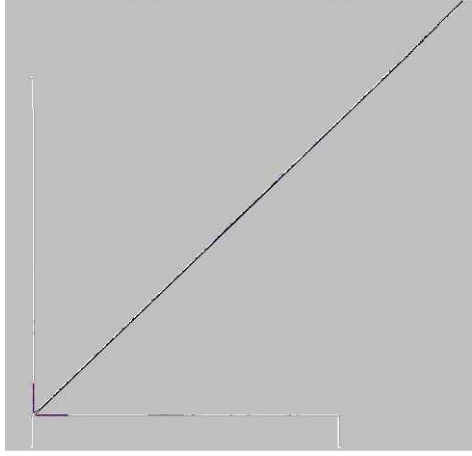
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-36 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-6 (地上) 0:00	Case-6 (地下) 0:00
	
Case-6 (地上) 0:10	Case-6 (地下) 0:10
	
Case-6 (地上) 0:20	Case-6 (地下) 0:20
	

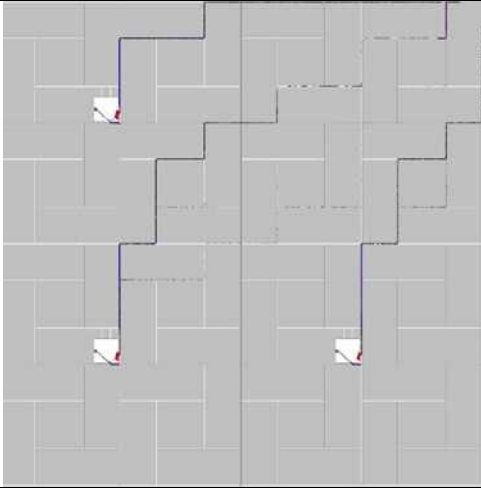
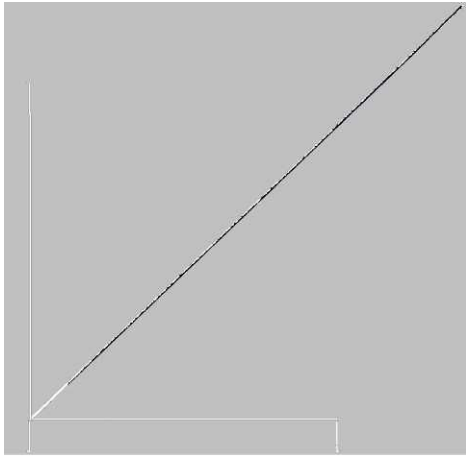
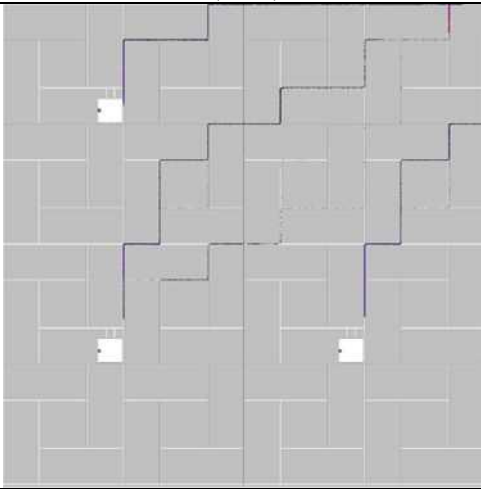
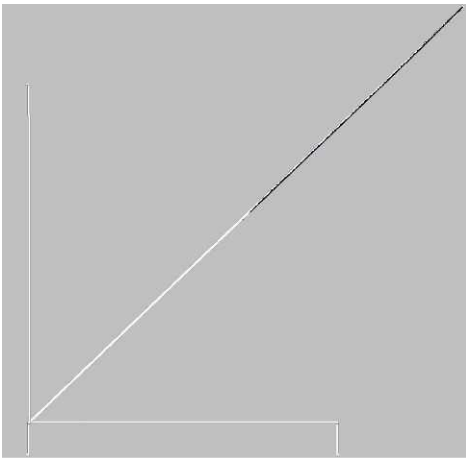
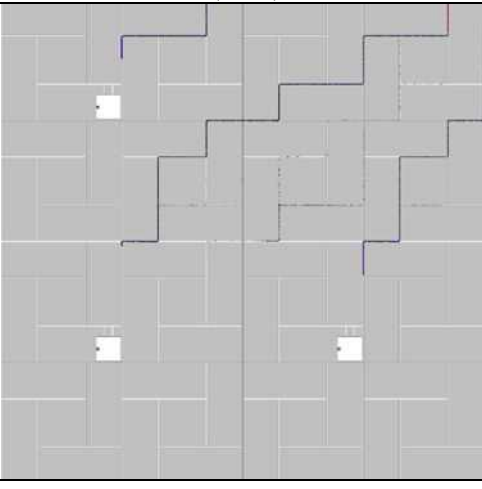
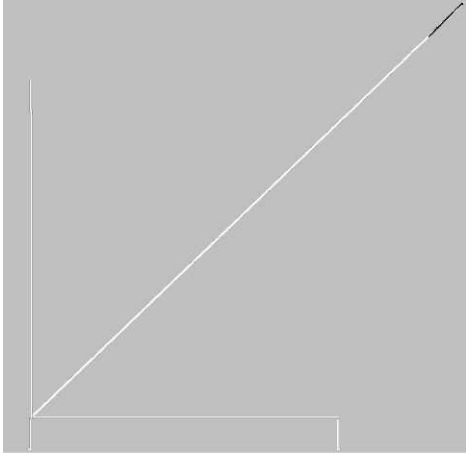
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-37 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

Case-6 (地上) 0:30	Case-6 (地下) 0:30
	
Case-6 (地上) 0:40	Case-6 (地下) 0:40
	
Case-6 (地上) 0:50	Case-6 (地下) 0:50
	

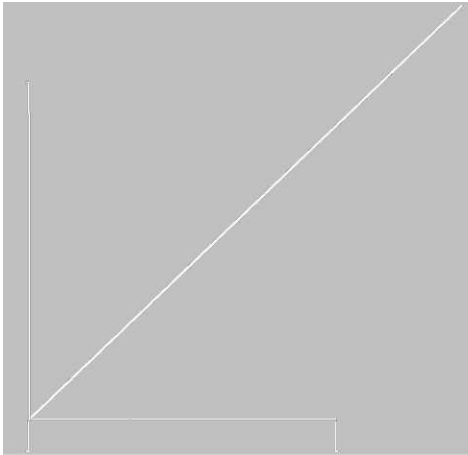
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-38 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(1:00~1:20)

Case-6 (地上) 1:00	Case-6 (地下) 1:00
	
Case-6 (地上) 1:10	Case-6 (地下) 1:10
	
Case-6 (地上) 1:20	Case-6 (地下) 1:20
	

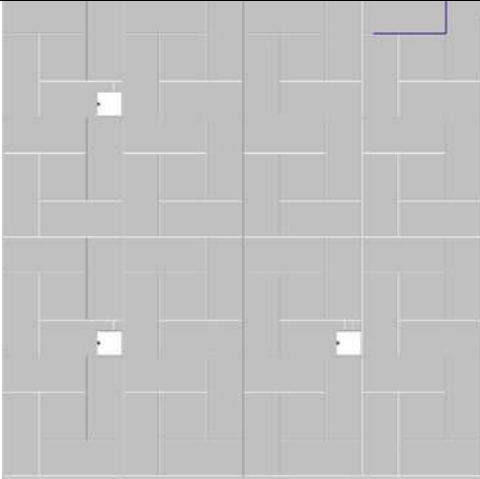
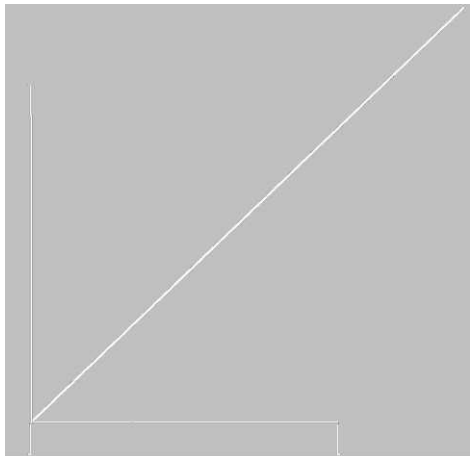
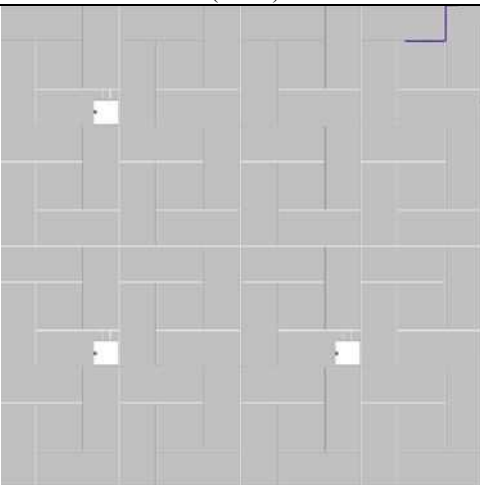
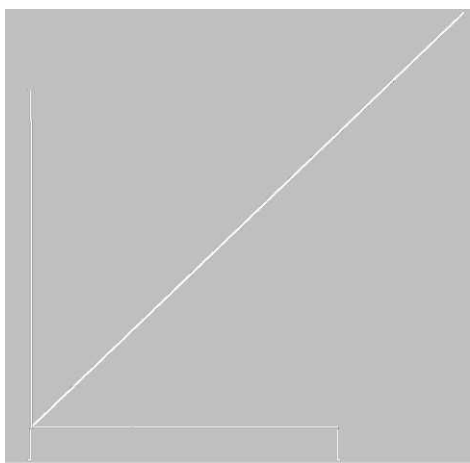
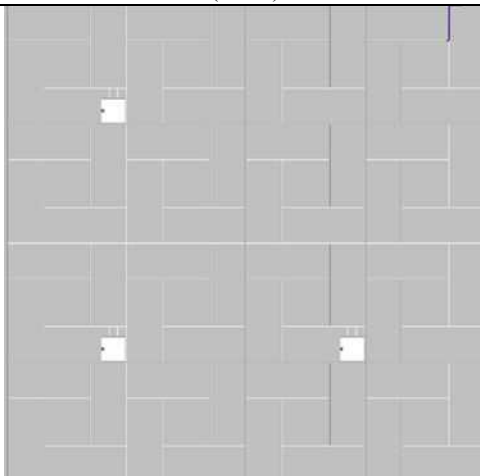
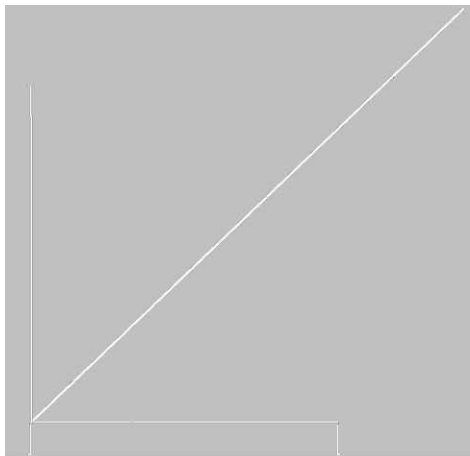
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-39 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

Case-6 (地上) 1:30	Case-6 (地下) 1:30
	
Case-6 (地上) 1:40	Case-6 (地下) 1:40
	
Case-6 (地上) 1:50	Case-6 (地下) 1:50
	

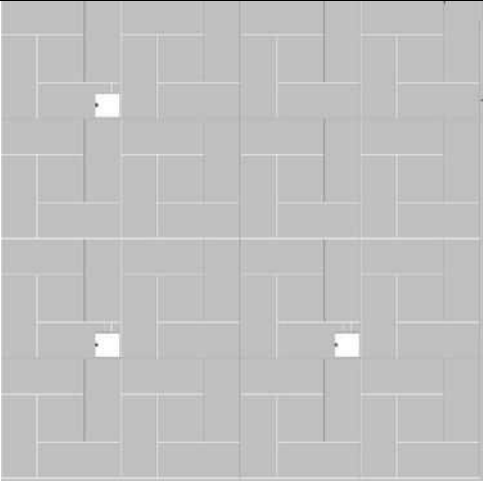
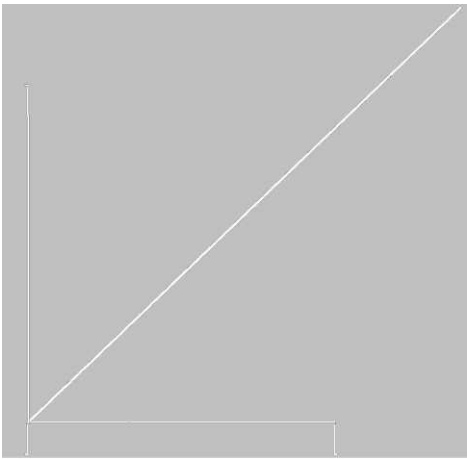
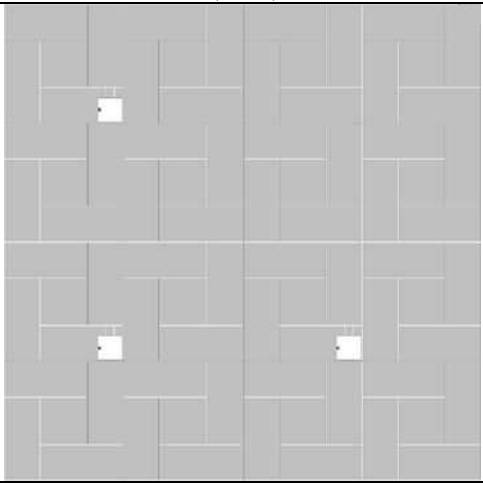
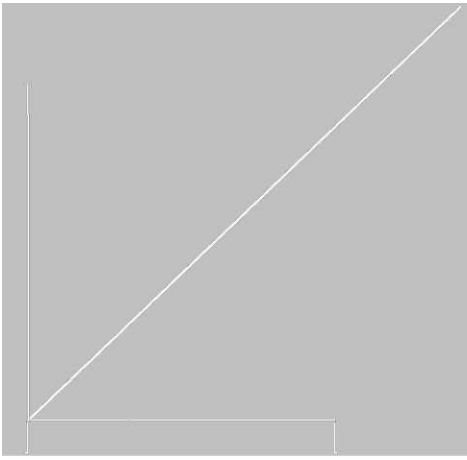
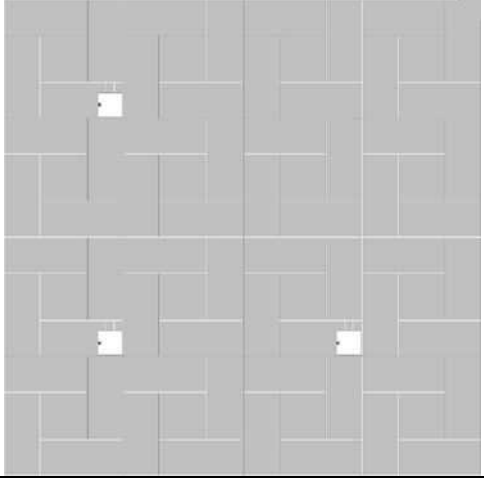
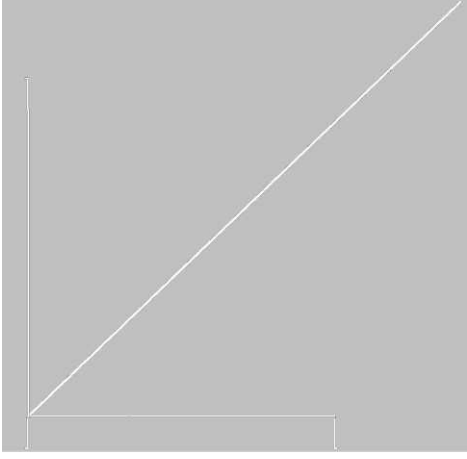
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-40 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(2:00~2:20)

Case-6 (地上) 2:00	Case-6 (地下) 2:00
	
Case-6 (地上) 2:10	Case-6 (地下) 2:10
	
Case-6 (地上) 2:20	Case-6 (地下) 2:20
	

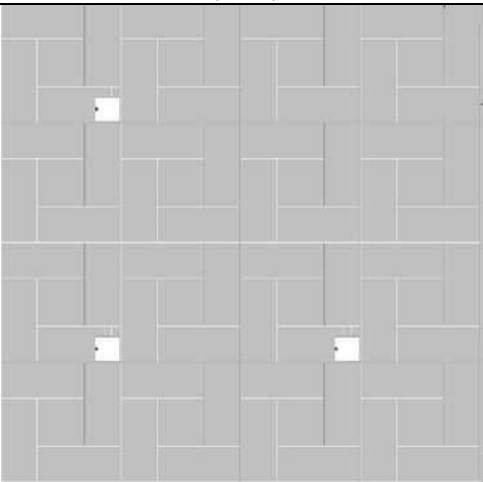
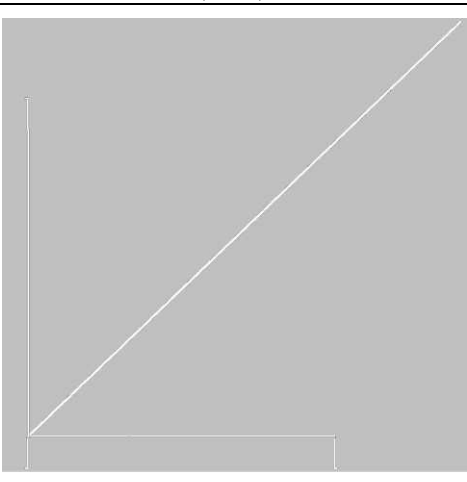
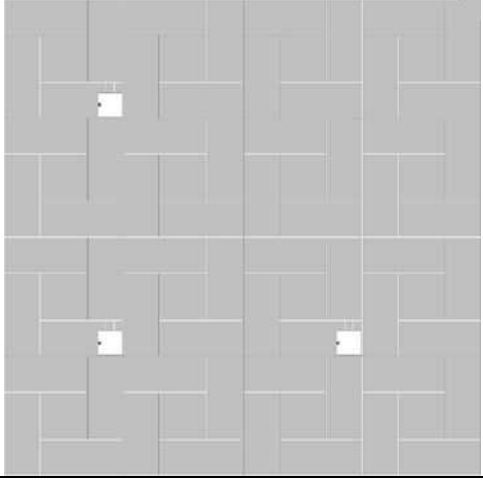
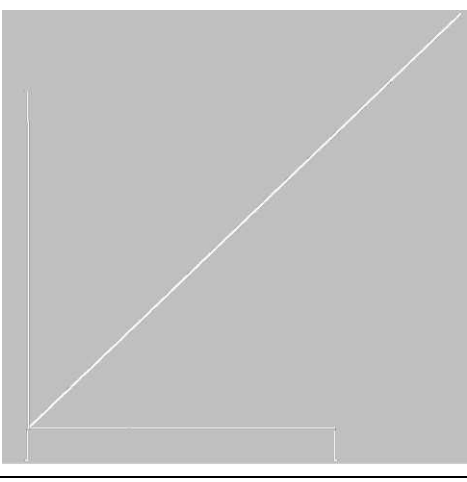
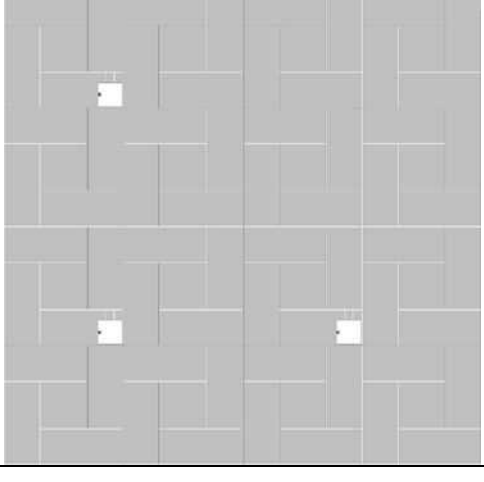
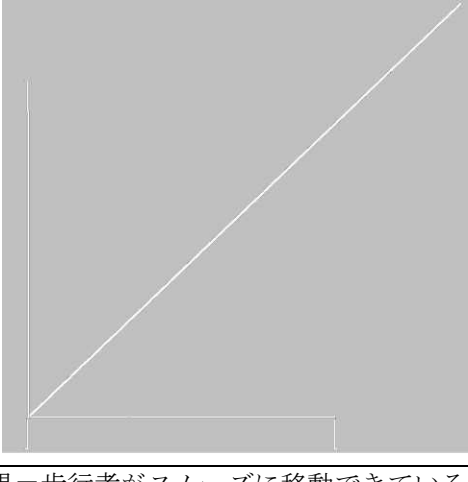
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-41 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(2:30~2:50)

Case-6 (地上) 2:30	Case-6 (地下) 2:30
	
Case-6 (地上) 2:40	Case-6 (地下) 2:40
	
Case-6 (地上) 2:50	Case-6 (地下) 2:50
	

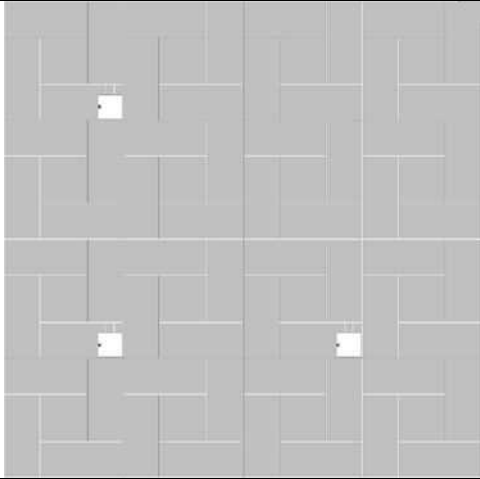
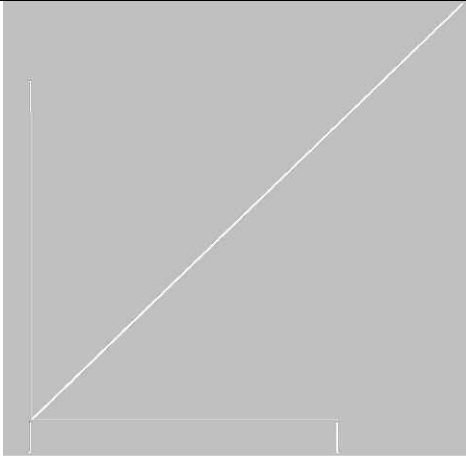
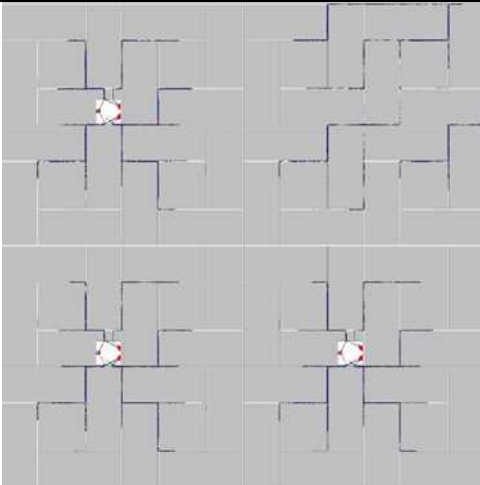
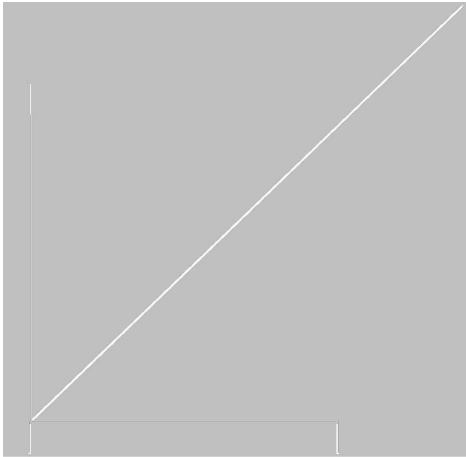
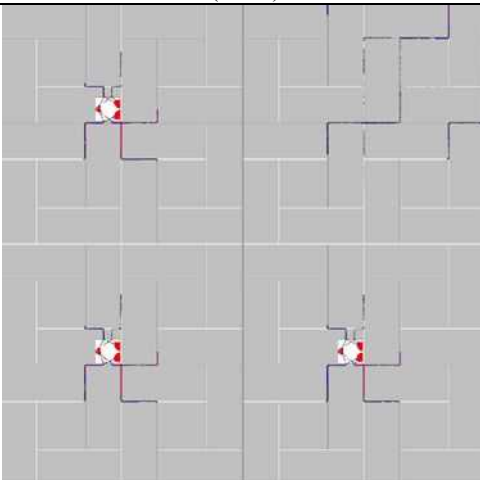
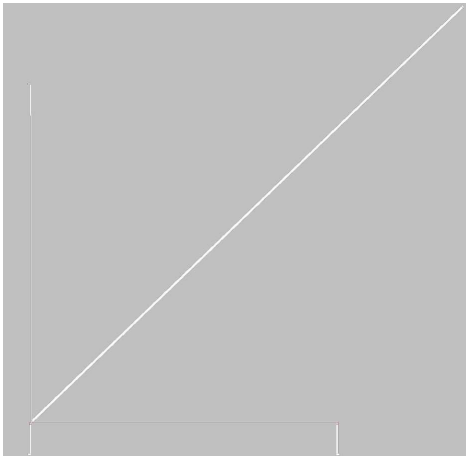
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-42 避難シミュレーション Case-6 における時間毎の避難状況(3:00~3:20)

Case-6 (地上) 3:00	Case-6 (地下) 3:00
	
Case-6 (地上) 3:10	Case-6 (地下) 3:10
	
Case-6 (地上) 3:20	Case-6 (地下) 3:20
	

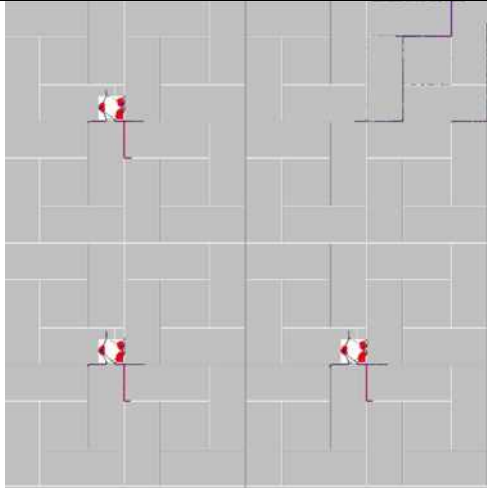
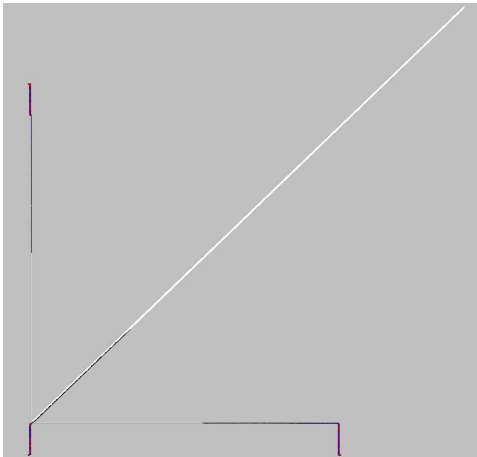
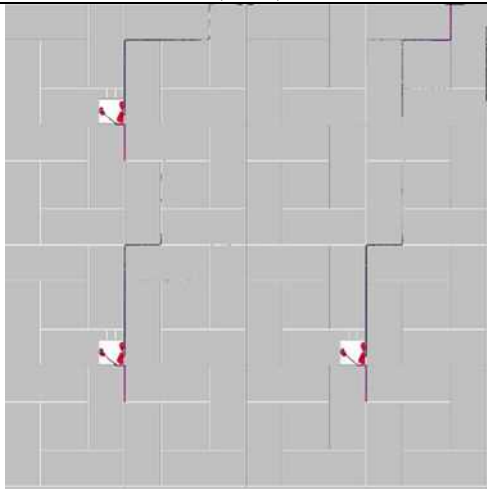
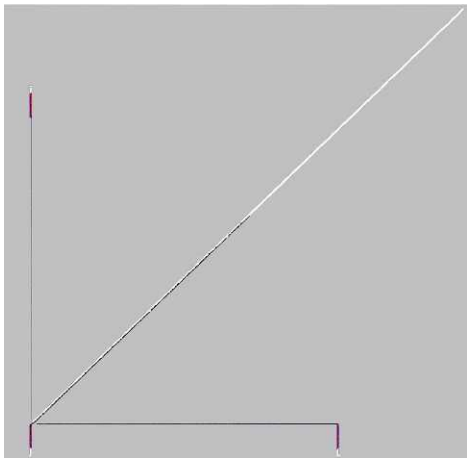
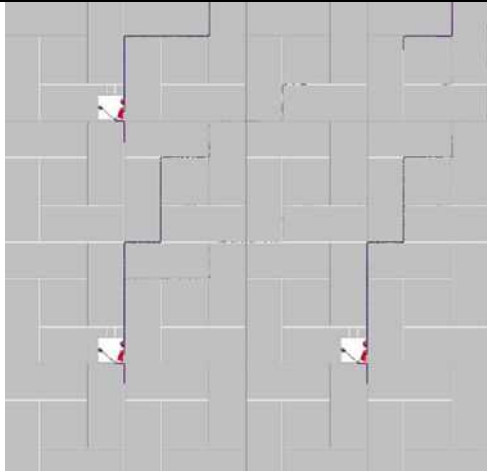
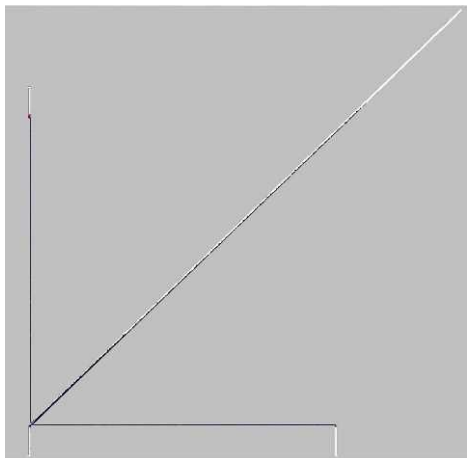
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-43 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-7 (地上) 0:00	Case-7 (地下) 0:00
	
Case-7 (地上) 0:10	Case-7 (地下) 0:10
	
Case-7 (地上) 0:20	Case-7 (地下) 0:20
	

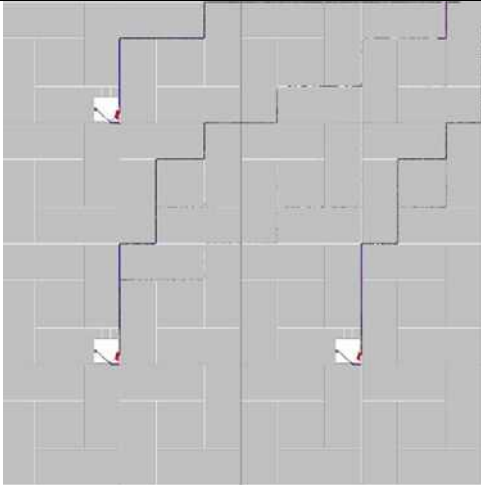
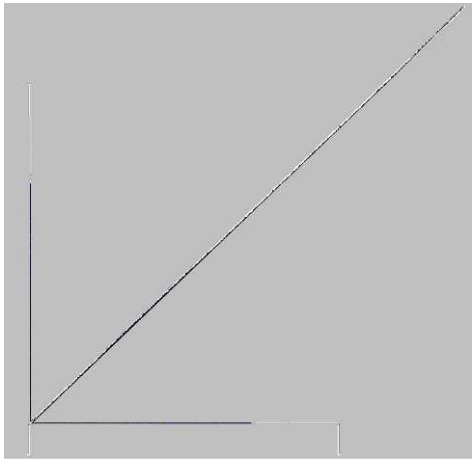
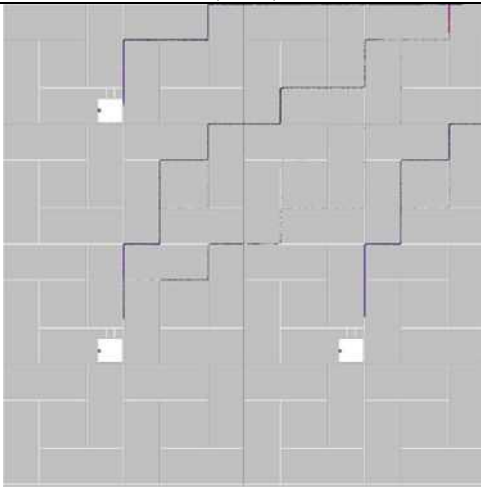
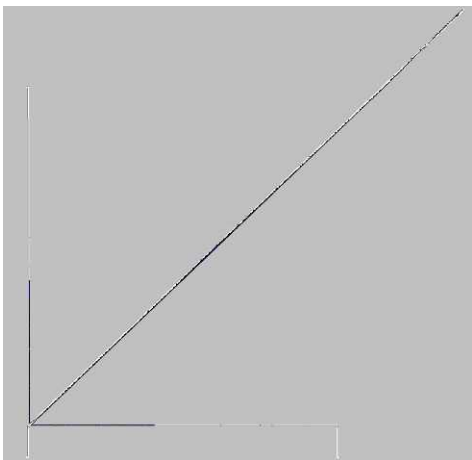
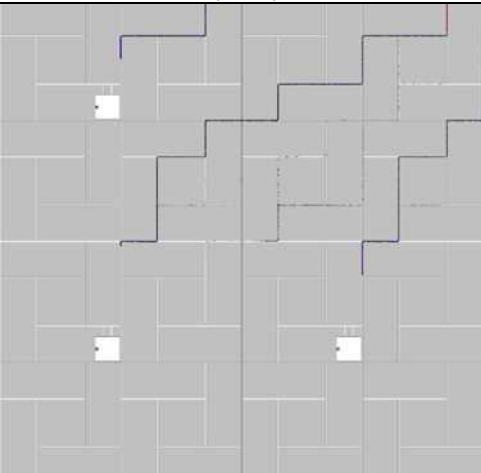
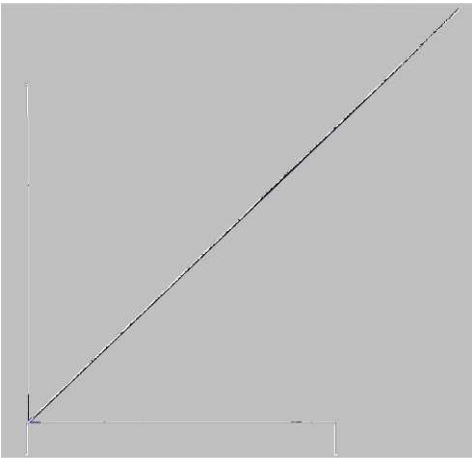
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-44 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

Case-7 (地上) 0:30	Case-7 (地下) 0:30
	
	
	

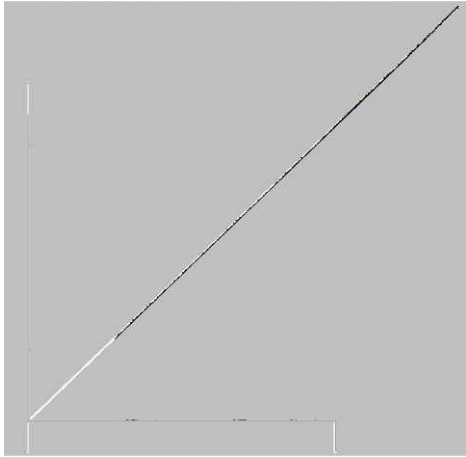
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-45 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(1:00~1:20)

Case-7 (地上) 1:00	Case-7 (地下) 1:00
	
Case-7 (地上) 1:10	Case-7 (地下) 1:10
	
Case-7 (地上) 1:20	Case-7 (地下) 1:20
	

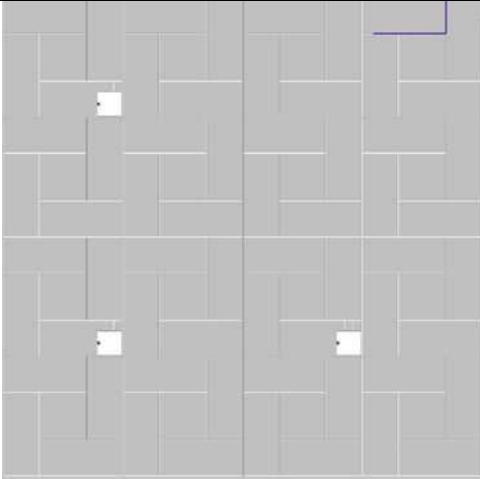
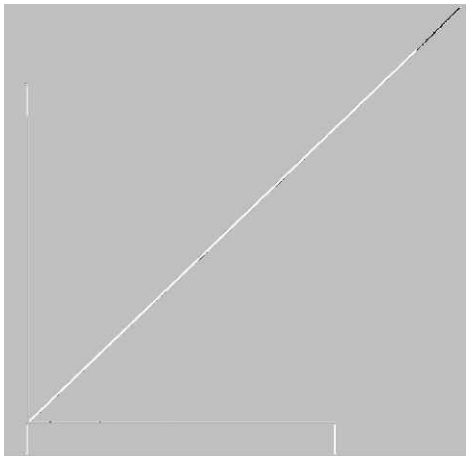
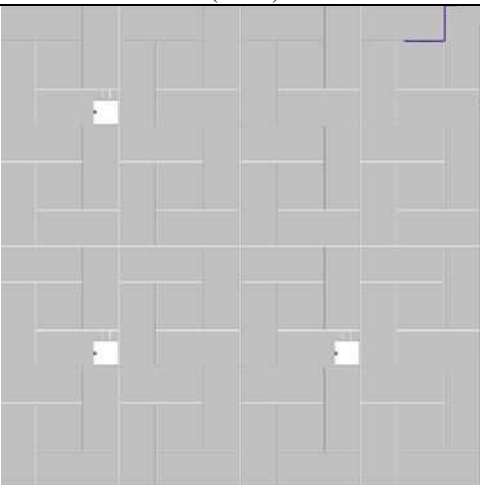
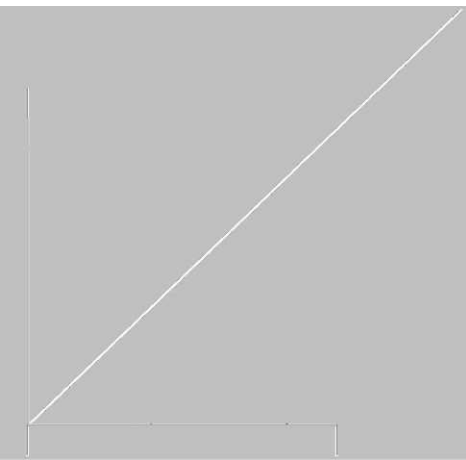
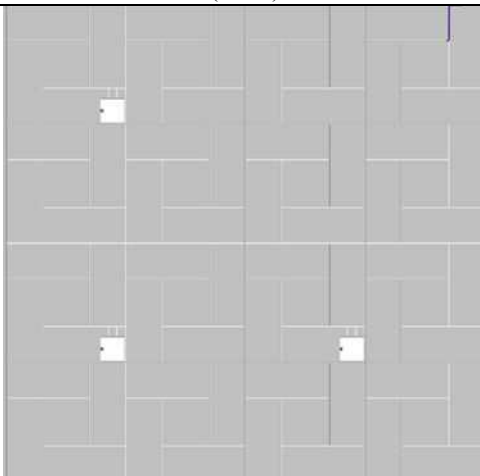
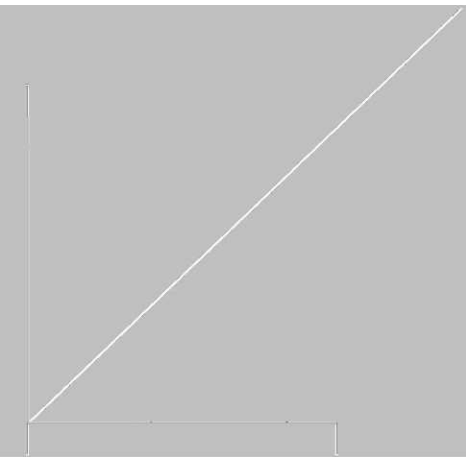
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-46 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

Case-7 (地上) 1:30	Case-7 (地下) 1:30
	
Case-7 (地上) 1:40	Case-7 (地下) 1:40
	
Case-7 (地上) 1:50	Case-7 (地下) 1:50
	

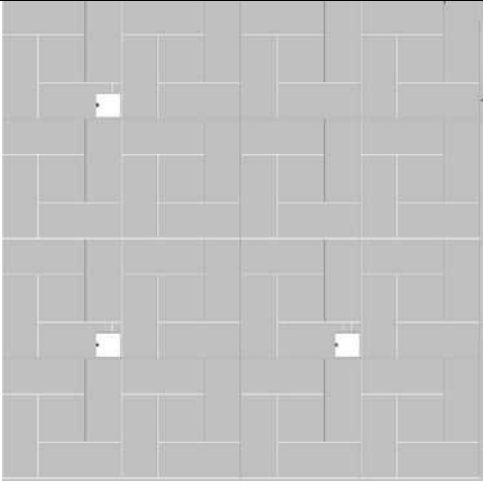
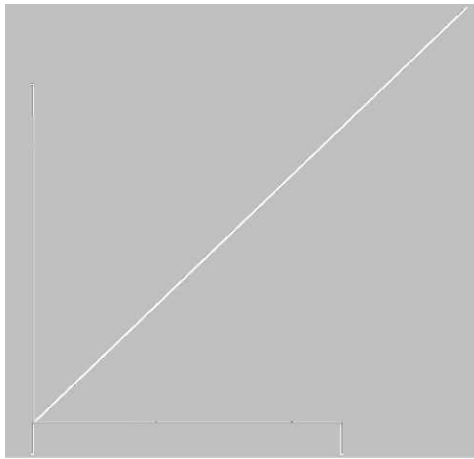
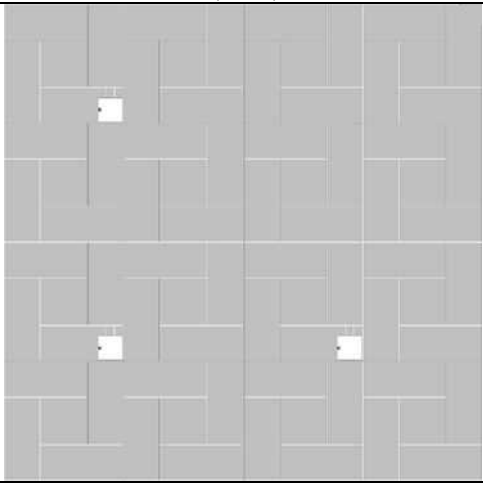
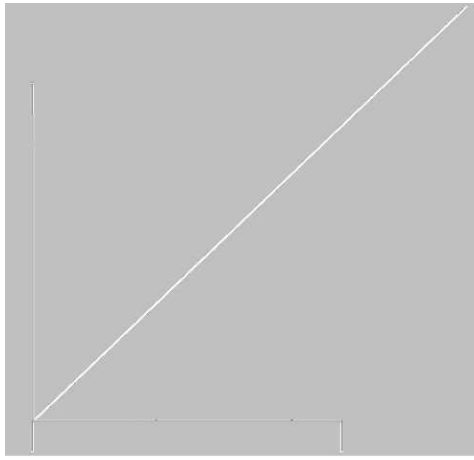
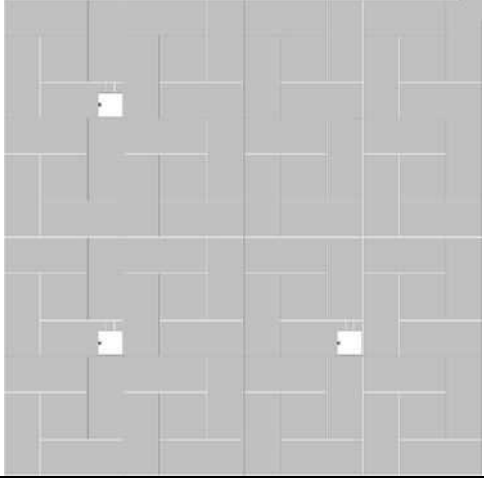
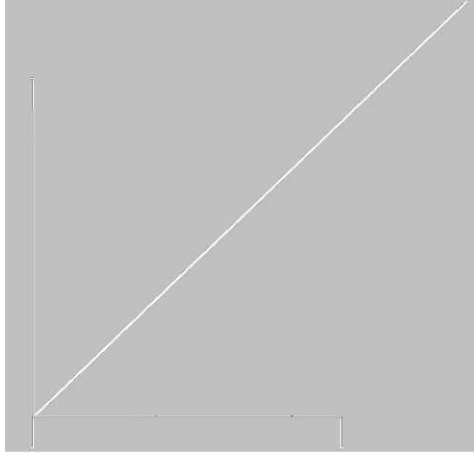
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-47 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(2:00~2:20)

Case-7 (地上) 2:00	Case-7 (地下) 2:00
	
Case-7 (地上) 2:10	Case-7 (地下) 2:10
	
Case-7 (地上) 2:20	Case-7 (地下) 2:20
	

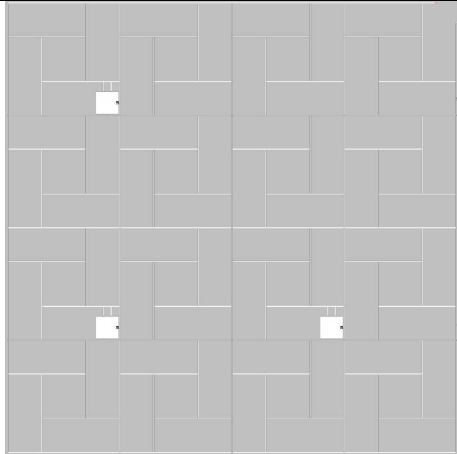
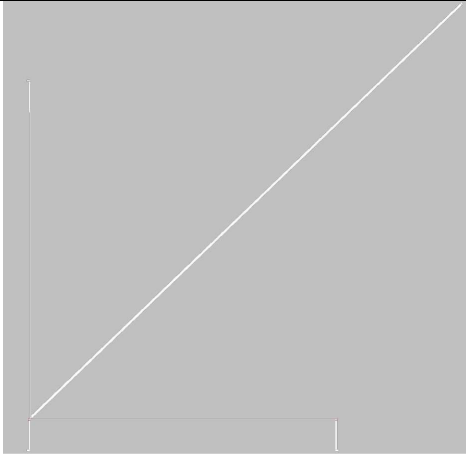
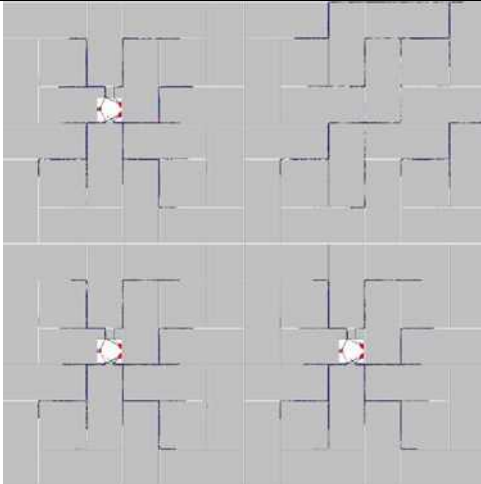
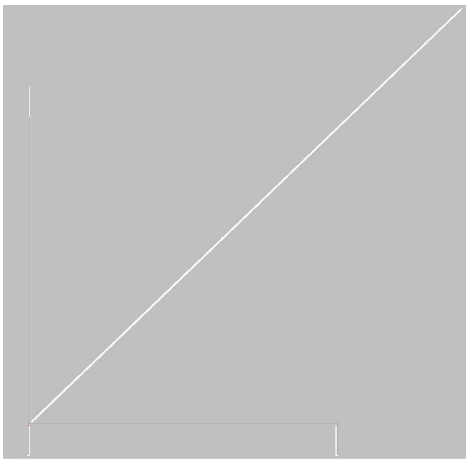
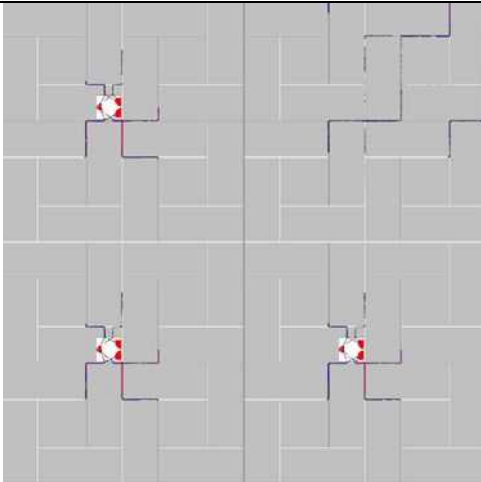
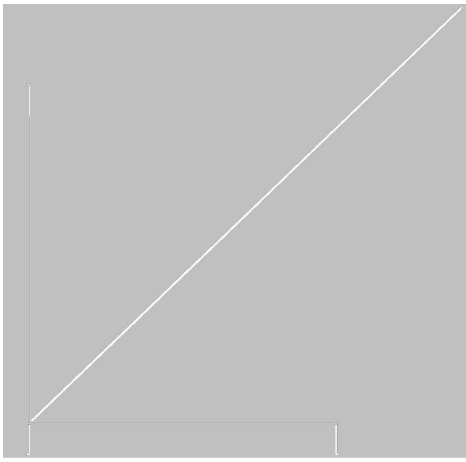
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-48 避難シミュレーション Case-7 における時間毎の避難状況(2:30~2:50)

Case-7 (地上) 2:30	Case-7 (地下) 2:30
	
Case-7 (地上) 2:40	Case-7 (地下) 2:40
	
Case-7 (地上) 2:50	Case-7 (地下) 2:50
	

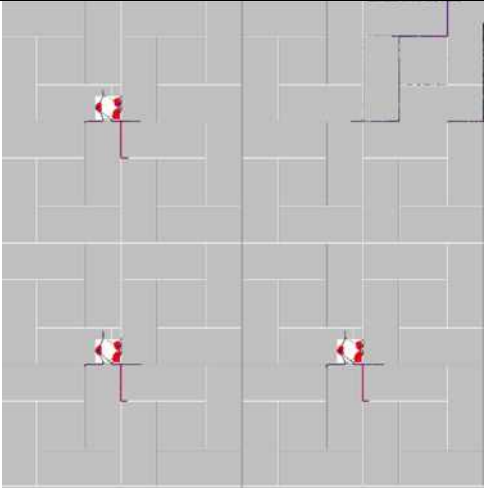
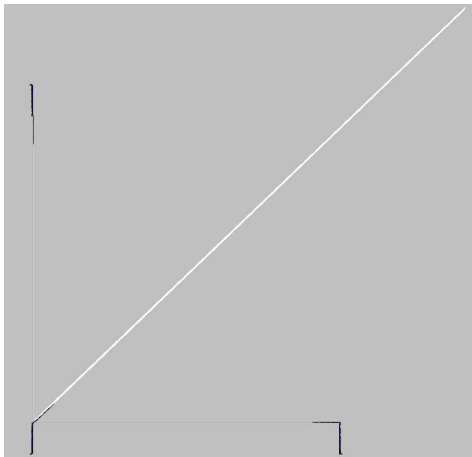
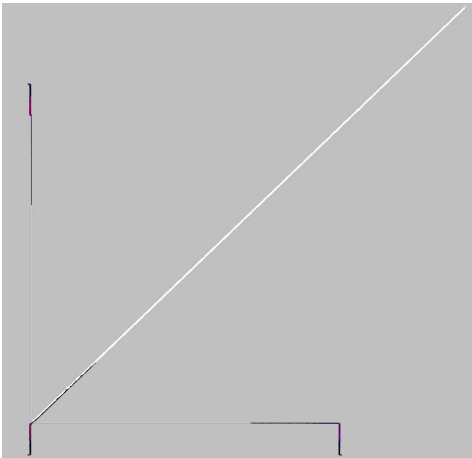
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-49 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(0:00~0:20)

Case-8 (地上) 0:00	Case-8 (地下) 0:00
	
Case-8 (地上) 0:10	Case-8 (地下) 0:10
	
Case-8 (地上) 0:20	Case-8 (地下) 0:20
	

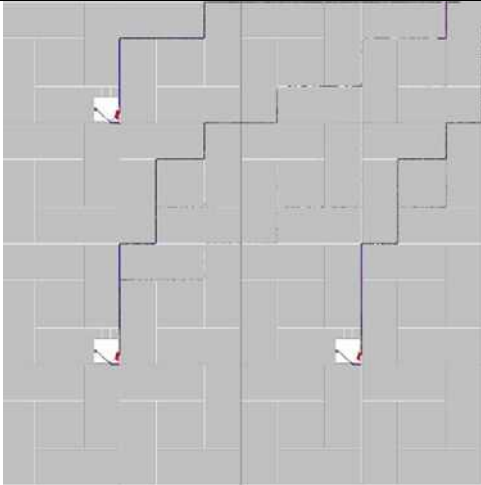
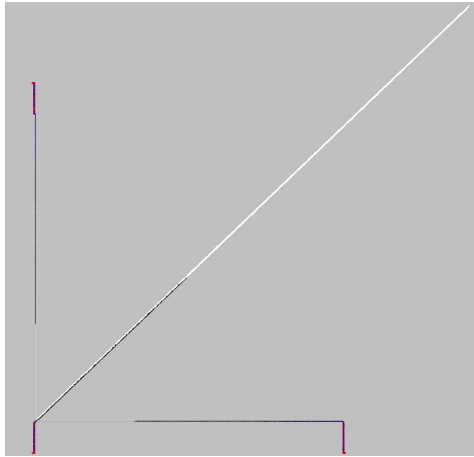
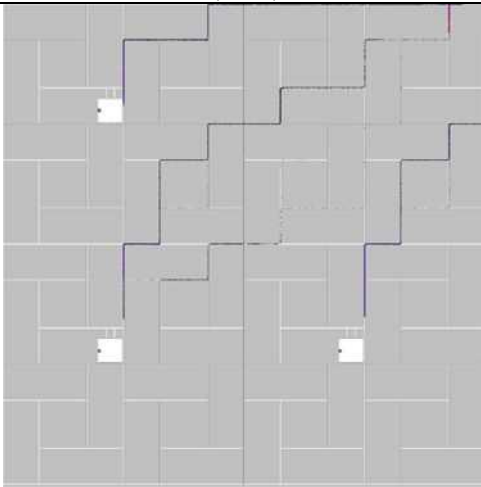
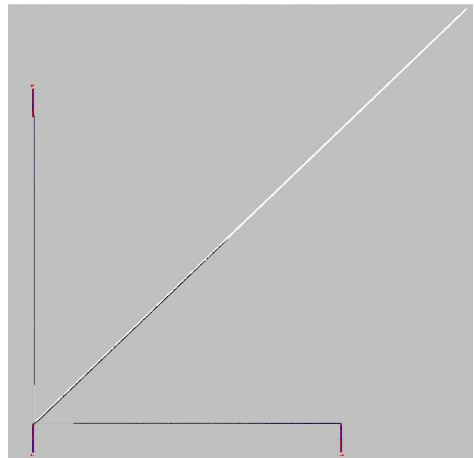
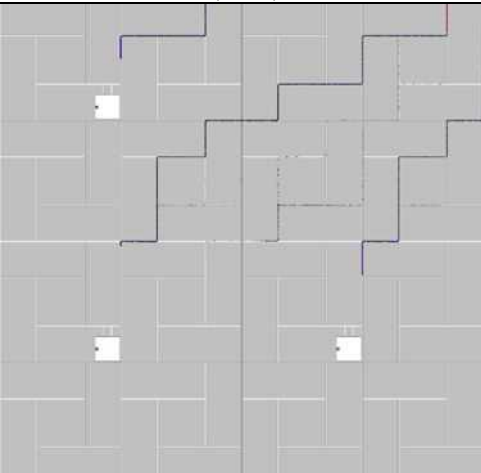
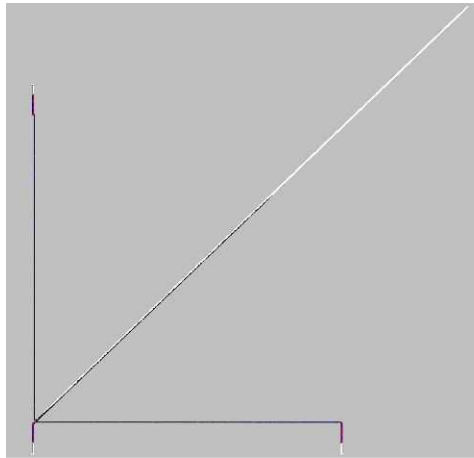
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-50 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(0:30~0:50)

Case-8 (地上) 0:30	Case-8 (地下) 0:30
	
Case-8 (地上) 0:40	Case-8 (地下) 0:40
	
Case-8 (地上) 0:50	Case-8 (地下) 0:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-51 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(1:00~1:20)

Case-8 (地上) 1:00	Case-8 (地下) 1:00
	
Case-8 (地上) 1:10	Case-8 (地下) 1:10
	
Case-8 (地上) 1:20	Case-8 (地下) 1:20
	

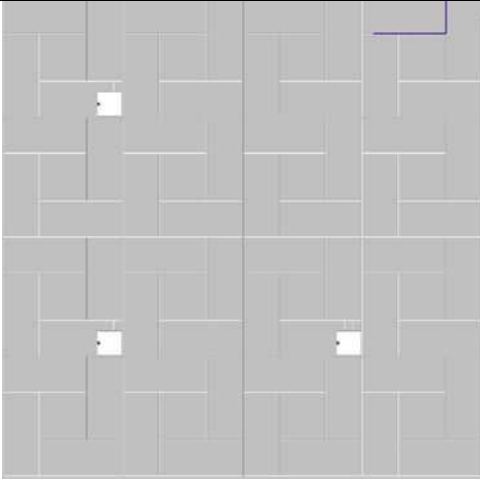
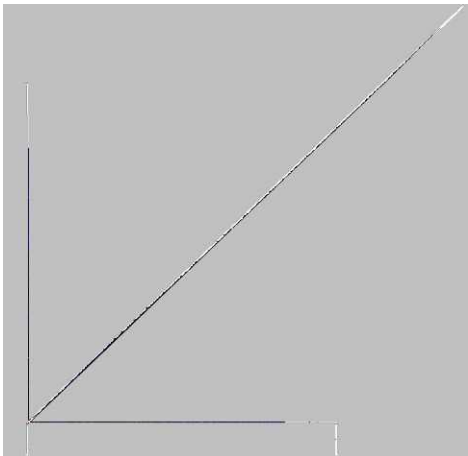
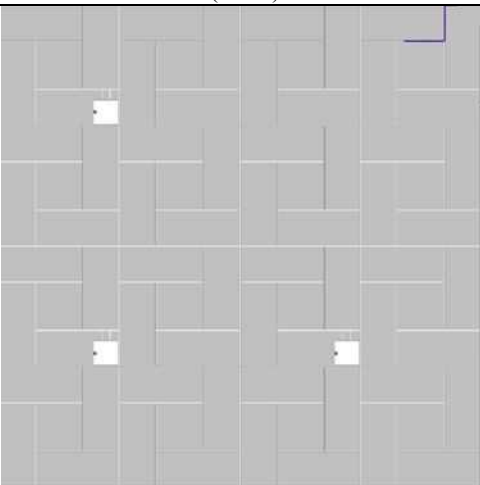
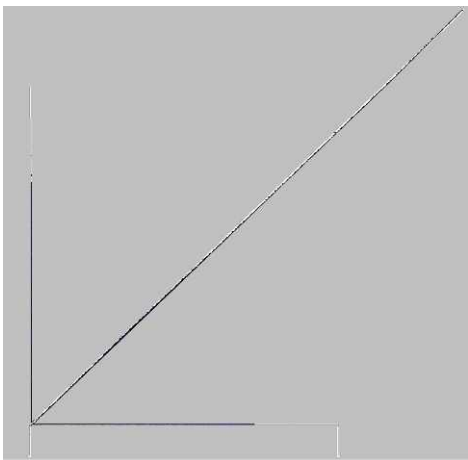
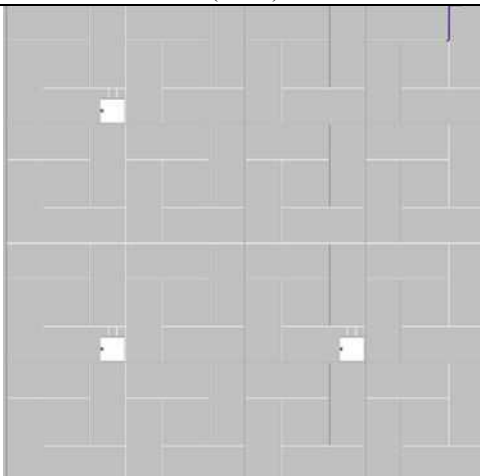
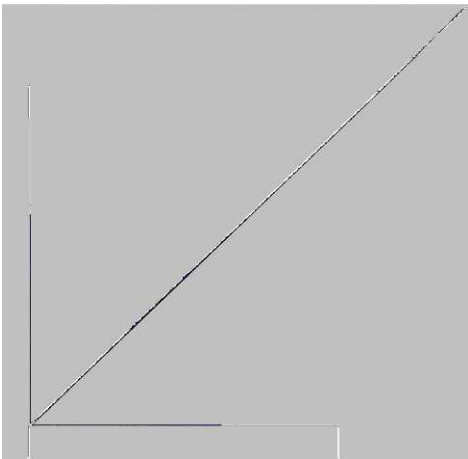
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-52 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(1:30~1:50)

Case-8 (地上) 1:30	Case-8 (地下) 1:30
	
Case-8 (地上) 1:40	Case-8 (地下) 1:40
	
Case-8 (地上) 1:50	Case-8 (地下) 1:50
	

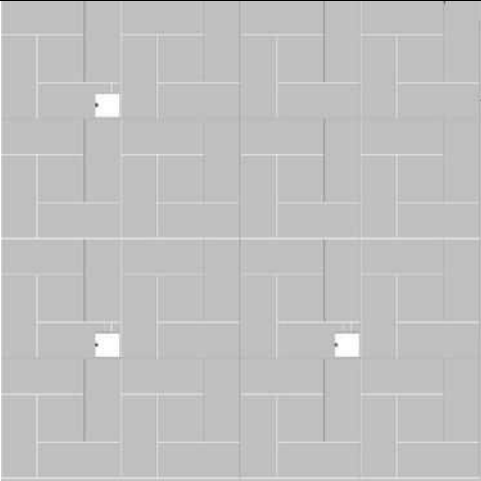
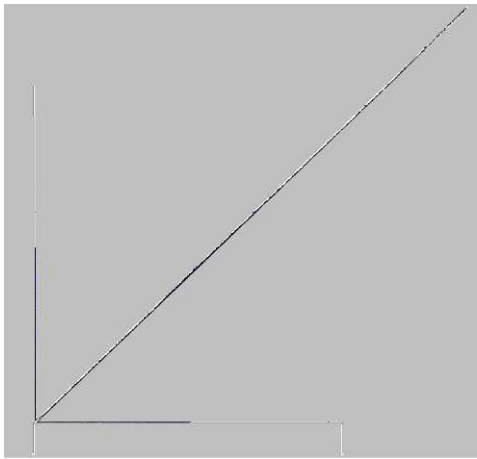
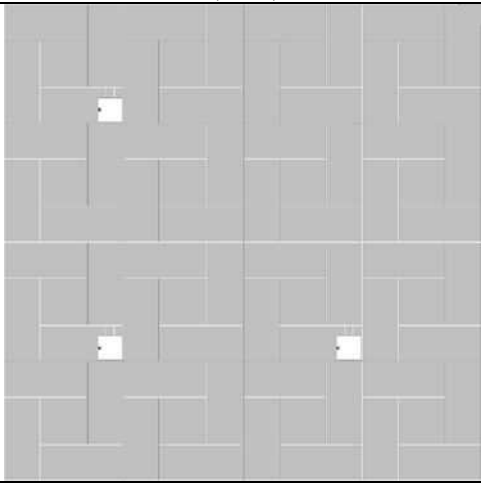
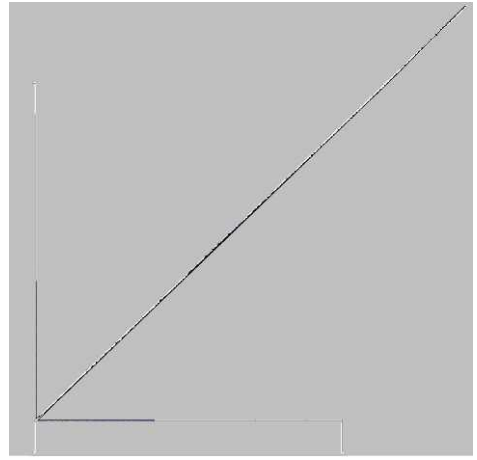
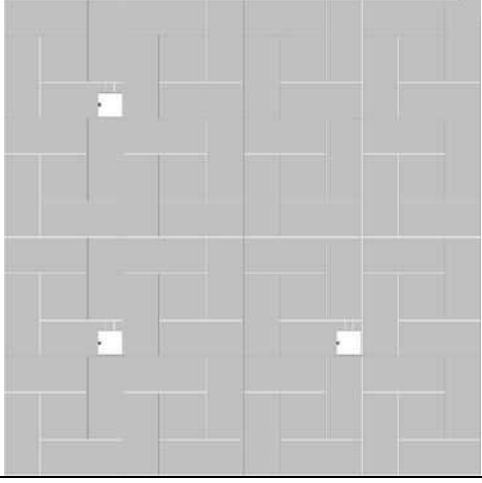
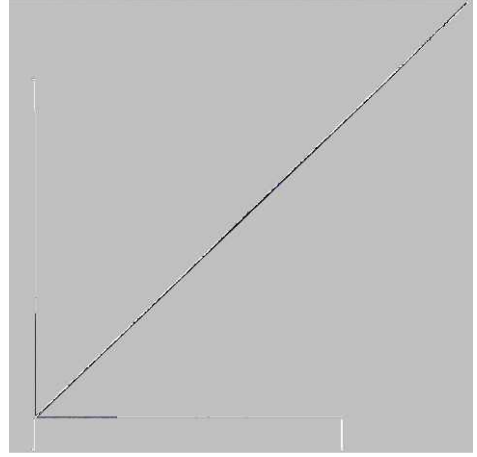
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-53 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(2:00~2:20)

Case-8 (地上) 2:00	Case-8 (地下) 2:00
	
Case-8 (地上) 2:10	Case-8 (地下) 2:10
	
Case-8 (地上) 2:20	Case-8 (地下) 2:20
	

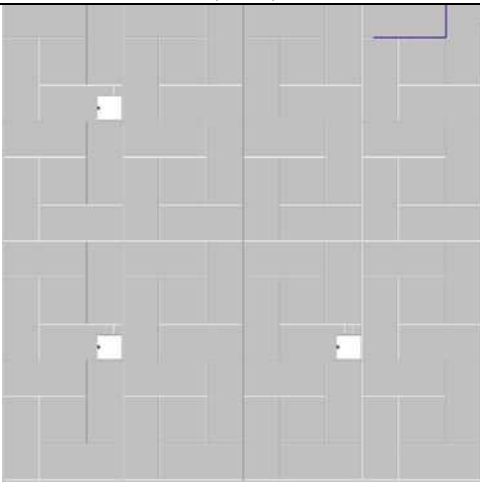
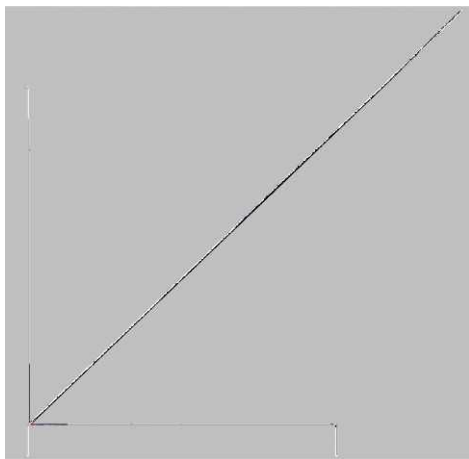
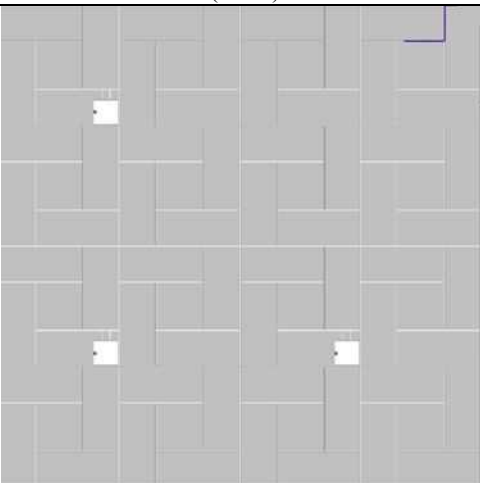
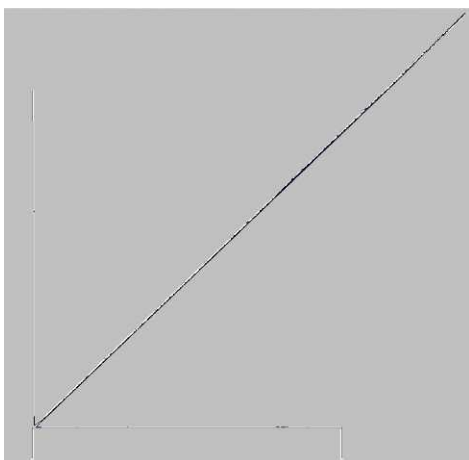
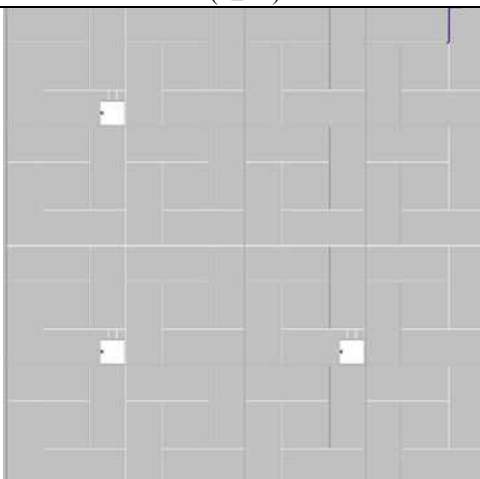
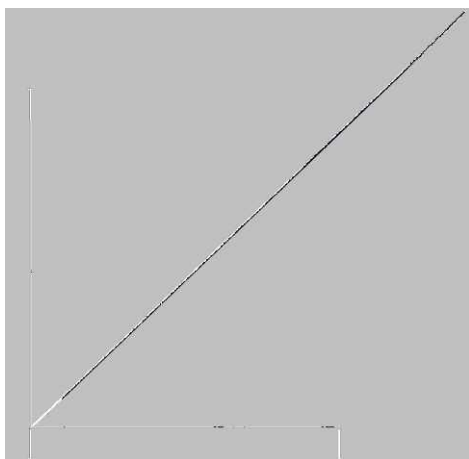
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-54 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(2:30~2:50)

Case-8 (地上) 2:30	Case-8 (地下) 2:30
	
Case-8 (地上) 2:40	Case-8 (地下) 2:40
	
Case-8 (地上) 2:50	Case-8 (地下) 2:50
	

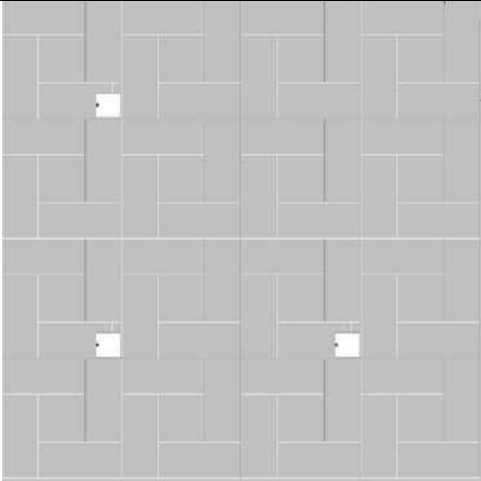
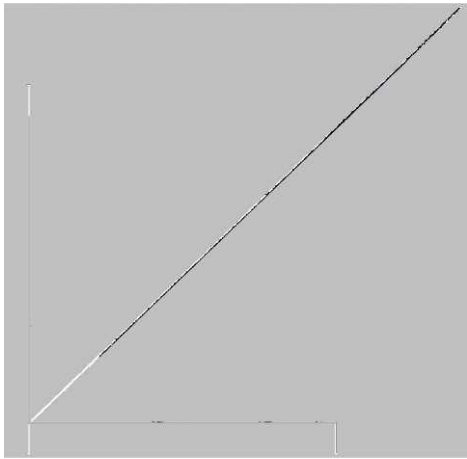
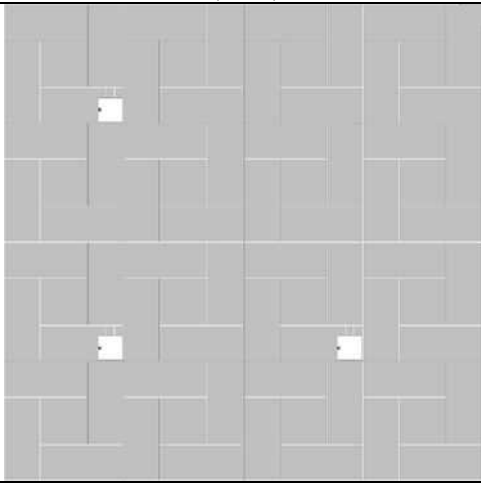
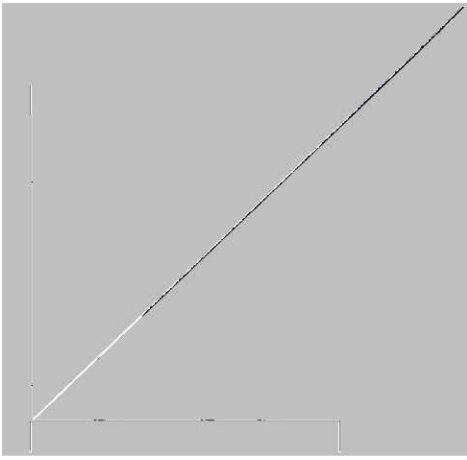
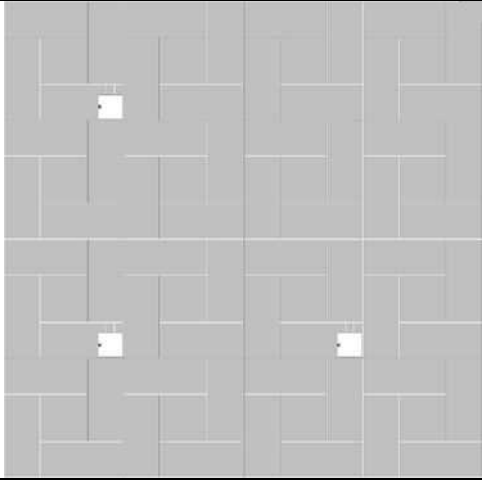
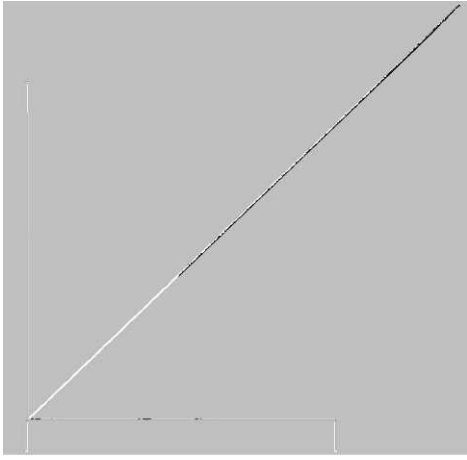
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-55 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(3:00~3:20)

Case-8 (地上) 3:00	Case-8 (地下) 3:00
	
Case-8 (地上) 3:10	Case-8 (地下) 3:10
	
Case-8 (地上) 3:20	Case-8 (地下) 3:20
	

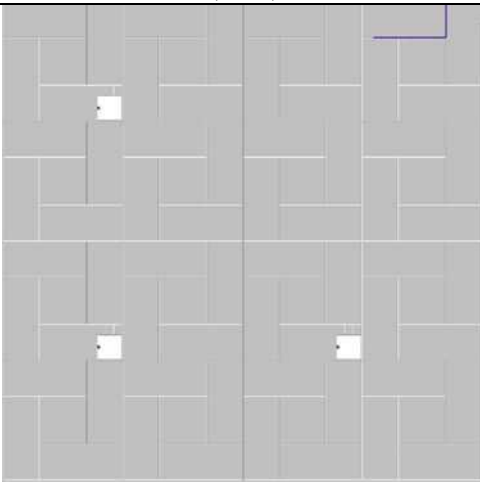
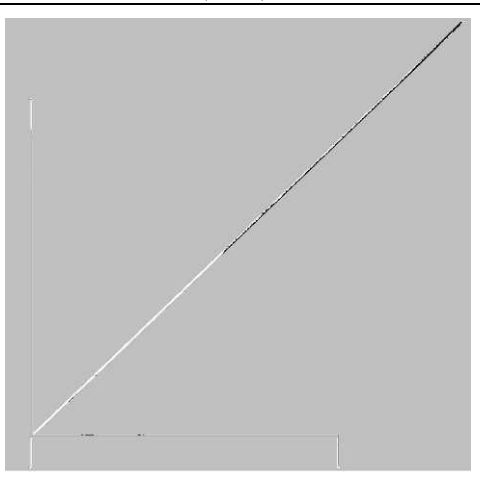
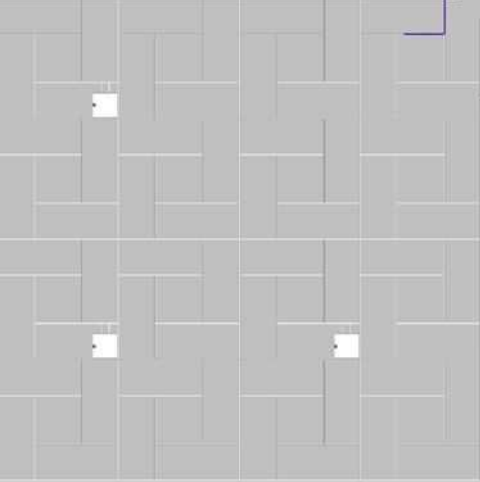
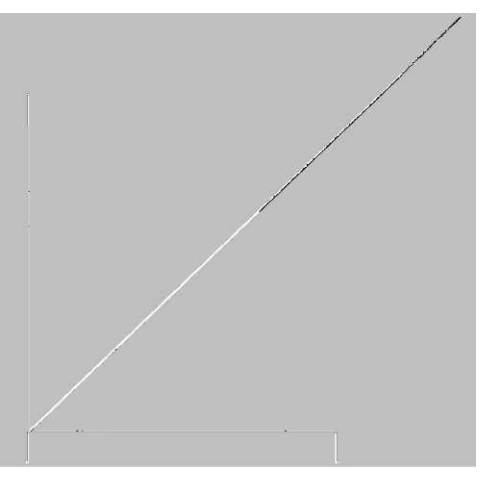
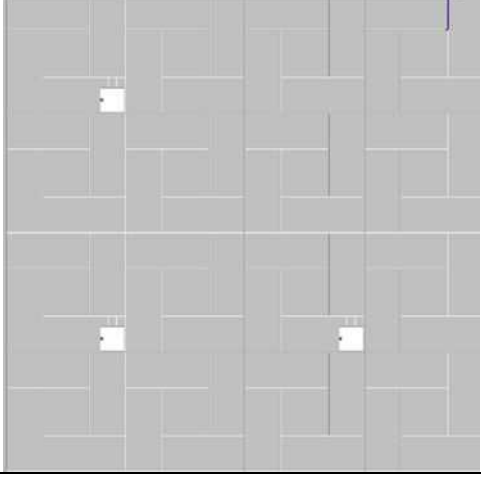
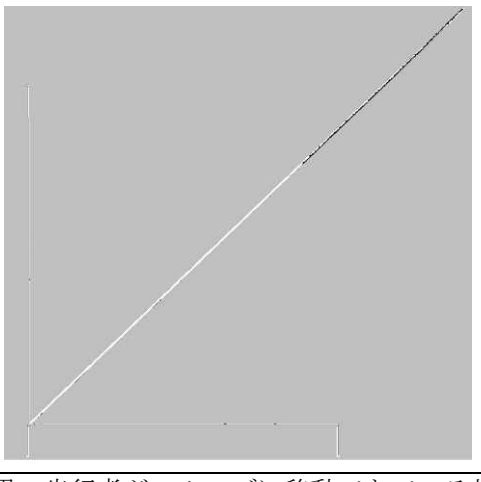
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-56 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(3:30~3:50)

Case-8 (地上) 3:30	Case-8 (地下) 3:30
	
Case-8 (地上) 3:40	Case-8 (地下) 3:40
	
Case-8 (地上) 3:50	Case-8 (地下) 3:50
	

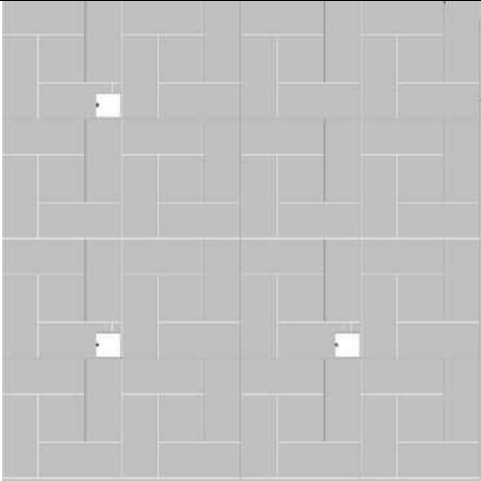
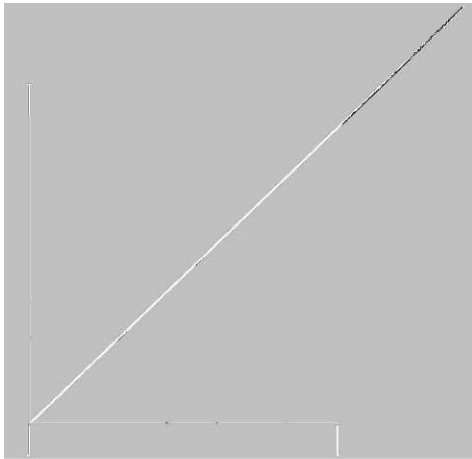
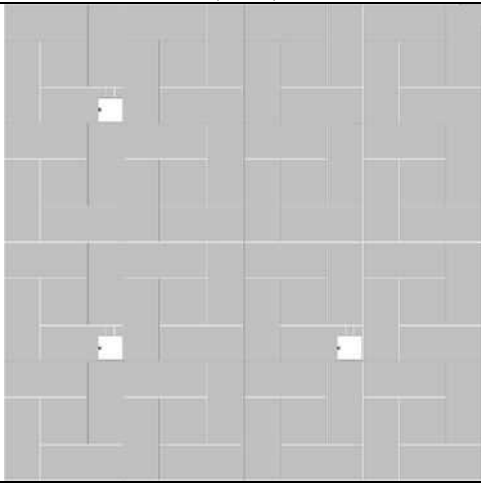
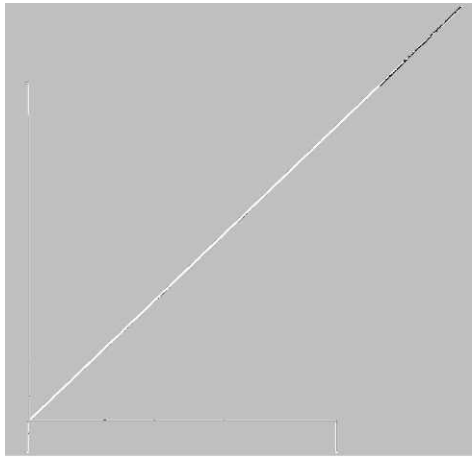
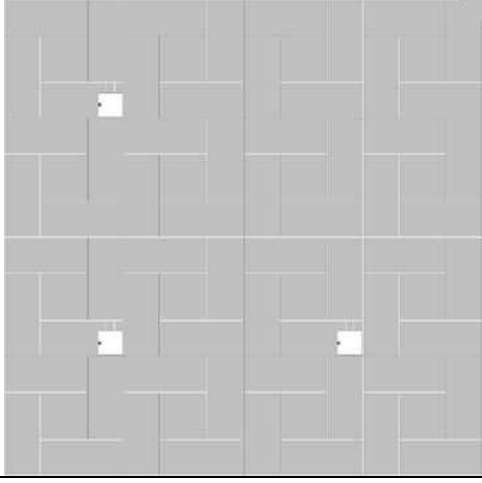
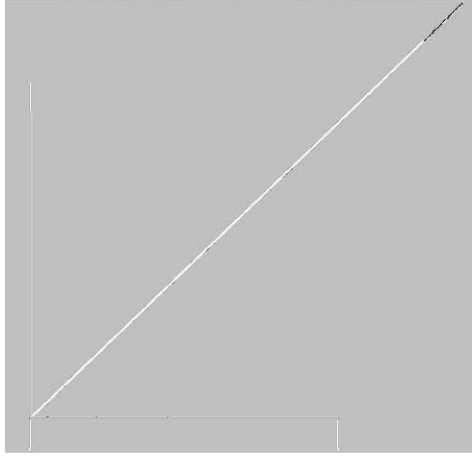
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-57 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(4:00~4:20)

Case-8 (地上) 4:00	Case-8 (地下) 4:00
	
Case-8 (地上) 4:10	Case-8 (地下) 4:10
	
Case-8 (地上) 4:20	Case-8 (地下) 4:20
	

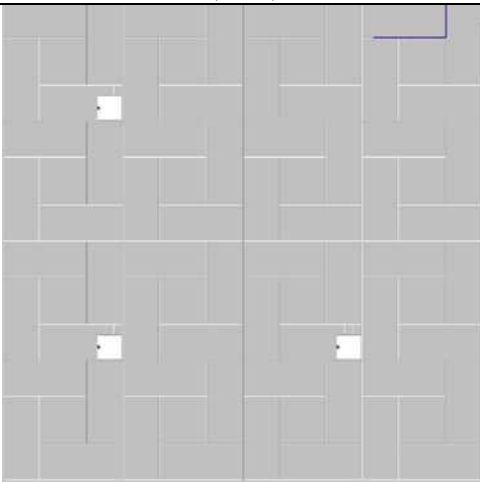
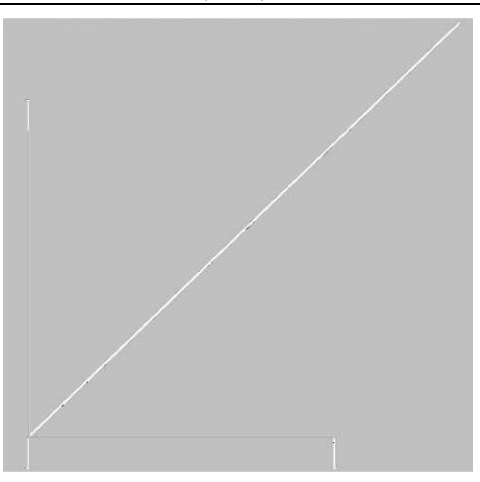
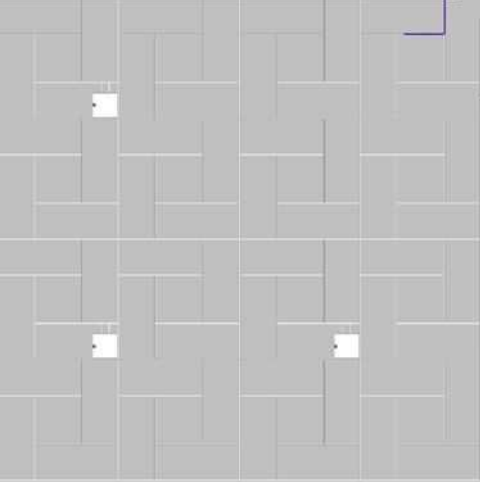
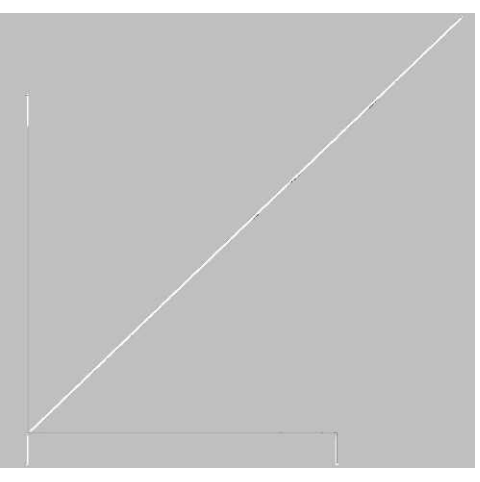
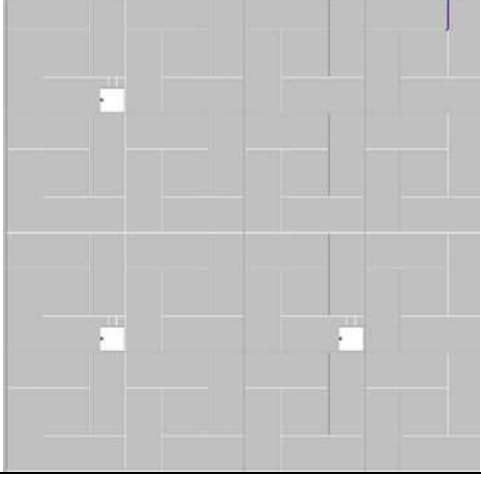
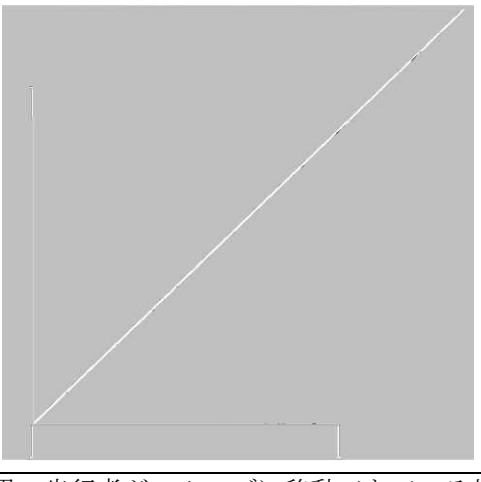
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-58 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(4:30~4:50)

Case-8 (地上) 4:30	Case-8 (地下) 4:30
	
Case-8 (地上) 4:40	Case-8 (地下) 4:40
	
Case-8 (地上) 4:50	Case-8 (地下) 4:50
	

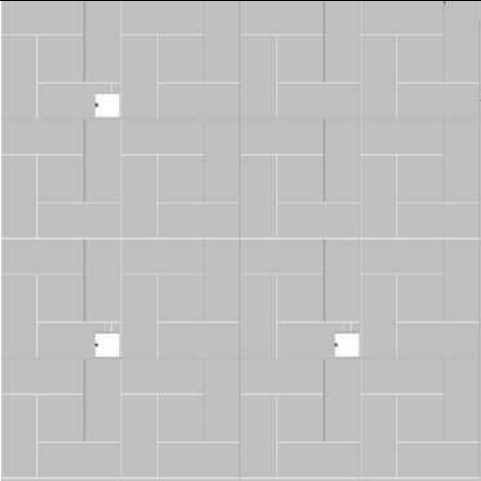
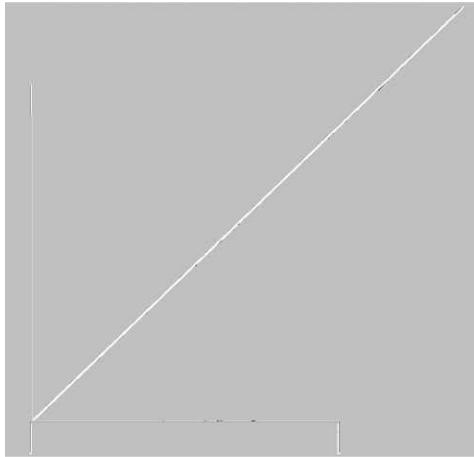
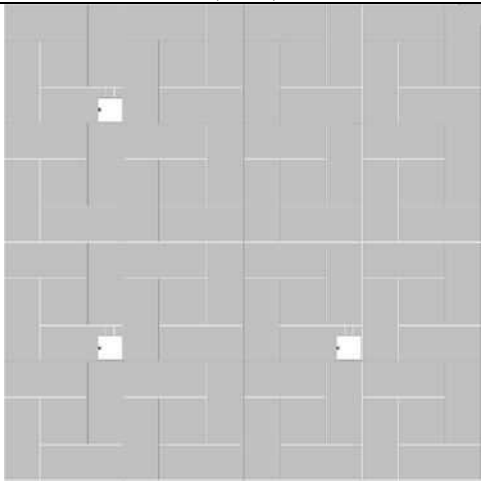
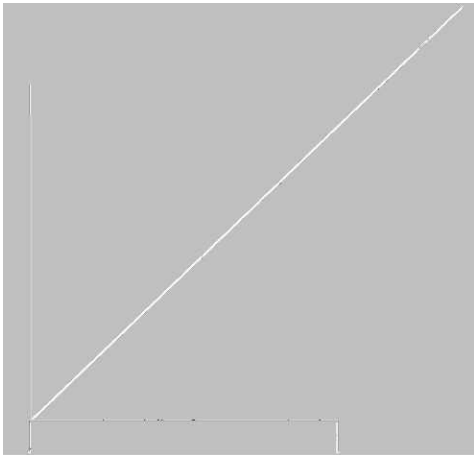
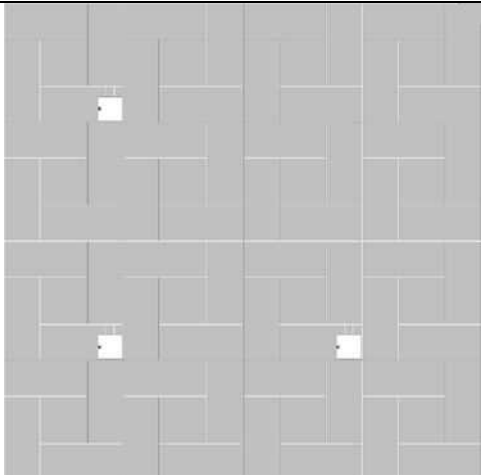
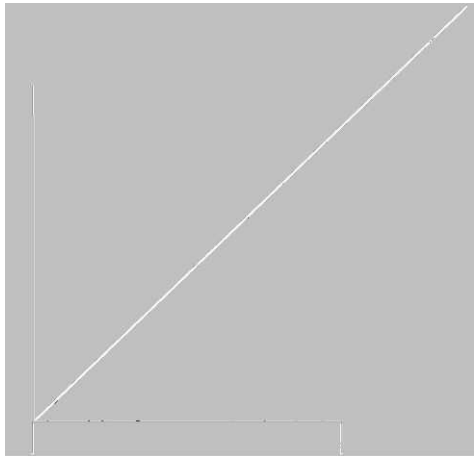
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-59 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(5:00~5:20)

Case-8 (地上) 5:00	Case-8 (地下) 5:00
	
Case-8 (地上) 5:10	Case-8 (地下) 5:10
	
Case-8 (地上) 5:20	Case-8 (地下) 5:20
	

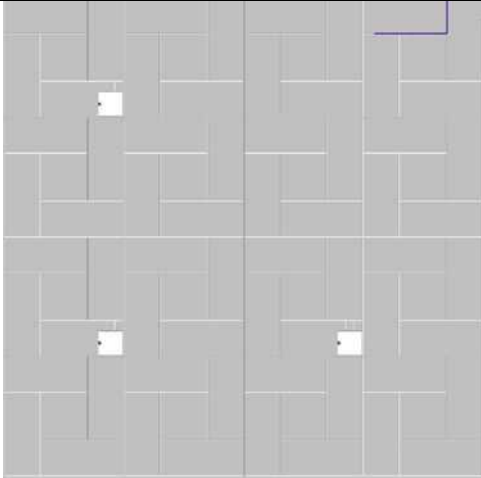
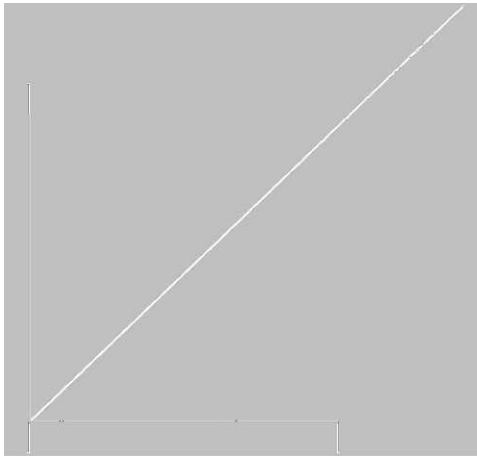
凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-60 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(5:30~5:50)

Case-8 (地上) 5:30	Case-8 (地下) 5:30
	
Case-8 (地上) 5:40	Case-8 (地下) 5:40
	
Case-8 (地上) 5:50	Case-8 (地下) 5:50
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
 青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
 赤＝歩行者が止まっている状態

表 6-61 避難シミュレーション Case-8 における時間毎の避難状況(6:00～6:20)

Case-8 (地上) 6:00	Case-8 (地下) 6:00
	

凡例：黒＝歩行者がスムーズに移動できている状態
青＝歩行者が他の歩行者を避けている状態
赤＝歩行者が止まっている状態